



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TE141599

**ANALISA KESTABILAN TRANSIEN PADA  
JARINGAN DISTRIBUSI IEEE 34 BUS DENGAN  
ADANYA PEMBANGKITAN TERDISTRIBUSI**

Azhar Ade prasetya  
NRP 2213 105 085

Dosen Pembimbing  
Dr. Eng. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng.  
Ir. Sjamsjul Anam, MT.

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2015



FINAL PROJECT - TE141599

***TRANSIENT STABILITY ANALYSIS OF IEEE 34 BUS  
DISTRIBUTION NETWORK WITH DISTRIBUTED  
GENERATION***

Azhar Ade prasetya  
NRP 2213 105 085

Lecturer  
Dr. Eng. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng.  
Ir. Sjamsjul Anam, MT.

ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT  
Faculty of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2015

**ANALISA KESTABILAN TRANSIEN PADA  
JARINGAN DISTRIBUSI IEEE 34 BUS DENGAN  
ADANYA PEMBANGKITAN TERDISTRIBUSI**

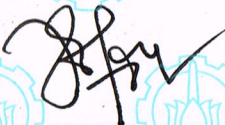
**TUGAS AKHIR**

**Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada**

**Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga  
Jurusan Teknik Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Menyetujui**

**Dosen Pembimbing I**

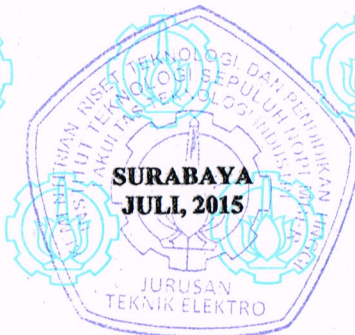


**Dr. Eng. Ardyono Privadi, ST., M.Eng.**  
**NIP. 197309271998031004**

**Dosen Pembimbing II**



**Ir. Siamsiul Anam, M.T.**  
**NIP. 196307251990031002**



# **Analisa Kestabilan Transien pada Jaringan Distribusi IEEE 34 Bus dengan Adanya Pembangkitan Terdistribusi**

**Nama** : Azhar Ade Prasetya  
**Pembimbing I** : Dr. Eng. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng.  
**Pembimbing II** : Ir. Sjamsjul Anam, M.T.

## **ABSTRAK**

Kebutuhan energi listrik semakin meningkat seiring dengan semakin meningkatnya jumlah penduduk pada suatu wilayah baik untuk memenuhi kebutuhan energi listrik rumah tangga maupun kebutuhan energi listrik industri. Untuk memenuhi permintaan energi listrik tersebut, maka salah satu upaya yang bisa dilakukan adalah dengan memasang pembangkitan terdistribusi yang diintegrasikan pada *grid*.

Kestabilan sistem tenaga listrik merupakan hal yang harus diperhatikan agar kontinuitas penyaluran energi listrik tetap terjaga, sehingga kerugian-kerugian akibat dari pemadaman listrik dapat diminimalisir. Salah satu parameter kestabilan sistem tenaga listrik adalah kestabilan sudut rotor pada generator, dalam hal ini generator yang dimaksud adalah pembangkitan terdistribusi. Stabilitas sudut rotor adalah kemampuan dari generator untuk mempertahankan keadaan sinkronnya ketika terjadi suatu gangguan, baik gangguan besar maupun gangguan kecil. Untuk menjaga generator agar tetap dalam keadaan sinkronnya diperlukan waktu pemutusan kritis (CCT) yang sesuai ketika terjadi suatu gangguan. Dengan menggunakan metode *Time Domain Simulation* akan didapatkan nilai CCT diantara waktu pemutusan stabil dan waktu pemutusan tidak stabilnya

**Kata Kunci** : Pembangkitan Terdistribusi, Kestabilan Sistem Tenaga Listrik, CCT, *Time Domain Simulation*



# **Analisa Kestabilan Transien pada Jaringan Distribusi IEEE 34 Bus dengan Adanya Pembangkitan Terdistribusi**

**Nama** : Azhar Ade Prasetya  
**Pembimbing I** : Dr. Eng. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng.  
**Pembimbing II** : Ir. Sjamsjul Anam, M.T.

## **ABSTRAK**

Kebutuhan energi listrik semakin meningkat seiring dengan semakin meningkatnya jumlah penduduk pada suatu wilayah baik untuk memenuhi kebutuhan energi listrik rumah tangga maupun kebutuhan energi listrik industri. Untuk memenuhi permintaan energi listrik tersebut, maka salah satu upaya yang bisa dilakukan adalah dengan memasang pembangkitan terdistribusi yang diintegrasikan pada *grid*.

Kestabilan sistem tenaga listrik merupakan hal yang harus diperhatikan agar kontinuitas penyaluran energi listrik tetap terjaga, sehingga kerugian-kerugian akibat dari pemadaman listrik dapat diminimalisir. Salah satu parameter kestabilan sistem tenaga listrik adalah kestabilan sudut rotor pada generator, dalam hal ini generator yang dimaksud adalah pembangkitan terdistribusi. Stabilitas sudut rotor adalah kemampuan dari generator untuk mempertahankan keadaan sinkronnya ketika terjadi suatu gangguan, baik gangguan besar maupun gangguan kecil. Untuk menjaga generator agar tetap dalam keadaan sinkronnya diperlukan waktu pemutusan kritis (CCT) yang sesuai ketika terjadi suatu gangguan. Dengan menggunakan metode *Time Domain Simulation* akan didapatkan nilai CCT diantara waktu pemutusan stabil dan waktu pemutusan tidak stabilnya

**Kata Kunci** : Pembangkitan Terdistribusi, Kestabilan Sistem Tenaga Listrik, CCT, *Time Domain Simulation*



# **Transient Stability Analysis of IEEE 34 Bus Distribution Network with Distributed Generation**

**Name** : Azhar Ade Prasetya  
**Advisor I** : Dr. Eng. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng.  
**Advisor II** : Ir. Sjamsjul Anam, M.T.

## **ABSTRACT**

Demand of electrical power is increasing along with the increase the number of population in a territory to fulfill energy electrical home appliances industry and demand of electrical power. To meet a demand the electrical energy, then one of the efforts could be done is placing the distributed generation of that be integrated on a grid .

Power system stability was something that must be considered so continuity of the distribution of electrical energy to stay awake, so that disadvantage of power outage can be minimized. One of the parameters of power system stability is rotor angle stability in the generator, in this case was defined as the generator is distributed generation. Rotor angle stability is the ability of a generator to remain in a state of synchronism after being large disturbance and small disturbance. To keep generator at synchronism condition required critical clearing time after being disturbance to isolate the disturbance. by using the Time Domain Simulation method will be obtained critical clearing time value which is among the time clearing stable and time clearing unstable.

**Keywords** : Distributed generation, Power system stability, Critical clearing time , Time Domain Simulation





## KATA PENGANTAR

*Alhamdulillah Robbil ‘Alamin*, puja dan puji syukur kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia yang tidak terkira berupa kekuatan, kesabaran, dan kelancaran sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini tepat pada waktunya. Adapun tujuan dari penyusunan tugas akhir ini adalah untuk menyelesaikan salah satu persyaratan dalam menyelesaikan studi pada bidang studi Teknik Sistem Tenaga, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang banyak berjasa terutama dalam penyusunan tugas akhir ini, yaitu :

1. Segenap keluarga penulis, Ibu Latifah Hanung , Ayah Sugeng Harijadi serta saudara-saudara tercinta Asri Dyah Pratiwi & Akbar Rakanda Prakasa yang selalu memberikan dukungan, semangat, dan do’a yang tiada hentinya untuk keberhasilan penulis.
2. Bapak Dr. Eng. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng. selaku dosen pembimbing 1 penulis yang telah rela meluangkan banyak waktu, memberikan saran, bimbingan, dan bantuan yang tidak ternilai dalam menyelesaikan tugas akhir ini kepada penulis.
3. Bapak Ir. Sjamsjul Anam, MT. selaku dosen pembimbing 2 penulis yang telah membimbing dan mendukung penulis agar dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.
4. Nurul Fitriah, wanita yang selalu memberikan dukungan, motivasi, waktu, perhatian serta do’a yang tak terhitung jumlahnya kepada penulis.
5. Rekan-rekan gokil LJ-2103 dan Pejuang Tugas Akhir Bli, Haryo, Aam, Neo, Deny, Gondes, Crudi, Arya, Andre, Alfian, Gembol, Sophyan, Halim, Nizar, Hari, Mamed, Aris, Risky, Ulur, Ruri, Oyong dan semua rekan-rekan yang tidak bisa penulis sebutkan satu-satu, Terima Kasih atas kebersamaannya & Semoga bertemu lagi dipuncak dengan sukses dipundak masing-masing.
6. Rekan-rekan gokil Teknik Elektro Industri PENS-ITS Candra, Mufidah, Habib, Uzi, Bagus, Hanafi, Fajar, Lepek, Cimos, Faisal, Deni dan semua rekan-rekan yang tidak bisa penulis sebutkan satu-satu, Terima Kasih atas kebersamaannya walaupun sudah di jalan yang berbeda-beda.

7. Almarhum M. Wahyou Akbar Subagjo, rekan penulis yang menginspirasi atas segala perjuangan yang telah dilakukan.
8. Seluruh rekan asisten dan penghuni LIPIST “B-204” yang membantu kelancaran tugas akhir ini Iskandar, Isa, Faisal, Evin, Wahyu dan rekan-rekan yang tidak bisa penulis sebutkan satu-satu.
9. Seluruh dosen LIPIST “B-204” bapak Heri, bapak Margo, bapak Ardyono, bapak Sidar yang selalu mempermudah birokrasi dan telah sangat ramah kepada penghuni lab termasuk penulis.
10. Bapak Anis, Bapak Azam & mentor-mentor UPT Bahasa ITS yang telah membantu penulis dalam belajar TOEFL
11. Seluruh keluarga besar Teknik Elektro ITS, para dosen, karyawan, mahasiswa, atas dukungan, masukan, dan kerjasamanya selama masa kuliah dan proses pengerjaan tugas akhir.

Kadang kita lupa, bahwa untuk melihat diri kita, jalan terbaik adalah melalui mata orang lain. Besar harapan penulis agar tugas akhir ini dapat memberikan manfaat dan masukan bagi banyak pihak. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik, koreksi, dan saran dari pembaca yang bersifat membangun untuk pengembangan ke arah yang lebih baik.

Surabaya, Mei 2015

Penulis



# DAFTAR ISI

	HALAMAN
<b>JUDUL</b>	
<b>LEMBAR PERNYATAAN</b>	
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b>	
<b>ABSTRAK.....</b>	<b>i</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>iii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN .....</b>	<b>xvii</b>

## **BAB 1 PENDAHULUAN**

1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	1
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan .....	2
1.5 Metodologi .....	2
1.6 Sistematika Penulisan .....	5
1.7 Relevansi .....	5

## **BAB 2 KESTABILAN TRANSIEN**

2.1 Kestabilan Sistem Tenaga Listrik.....	7
2.1.1 Kestabilan Tegangan .....	8
2.1.2 Kestabilan Frekuensi .....	8
2.1.3 Kestabilan Sudut Rotor .....	8
2.2 Kestabilan Transien.....	9
2.3 Persamaan Ayunan.....	10
2.4 Pembangkitan Terdistribusi .....	12
2.5 Kumparan Peredam ( <i>Damper Winding</i> ) .....	13
2.6 Waktu Pemutusan Kristis.....	14

## **BAB 3 PEMODELAN SISTEM**

3.1 Perhitungan Aliran Daya ( <i>Power Flow</i> ) .....	16
3.1.1 Metode <i>Forward-Backward Sweep</i> .....	17
3.2 Reduksi Jaringan .....	21

3.3	Persamaan Ayunan ( <i>Swing Equation</i> ).....	22
3.4	Metode <i>Runge-Kutta</i> Orde 4.....	25

#### **BAB 4 SIMULASI DAN ANALISIS DATA**

4.1	Sistem IEEE 34 Bus .....	27
4.2	Perhitungan CCT pada Sistem IEEE 34 Bus.....	31
4.3	Analisa Grafik Karakteristik Sistem IEEE 34 Bus dengan Adanya Penambahan Pembangkitan Terdistribusi .....	32

#### **BAB 5 PENUTUP**

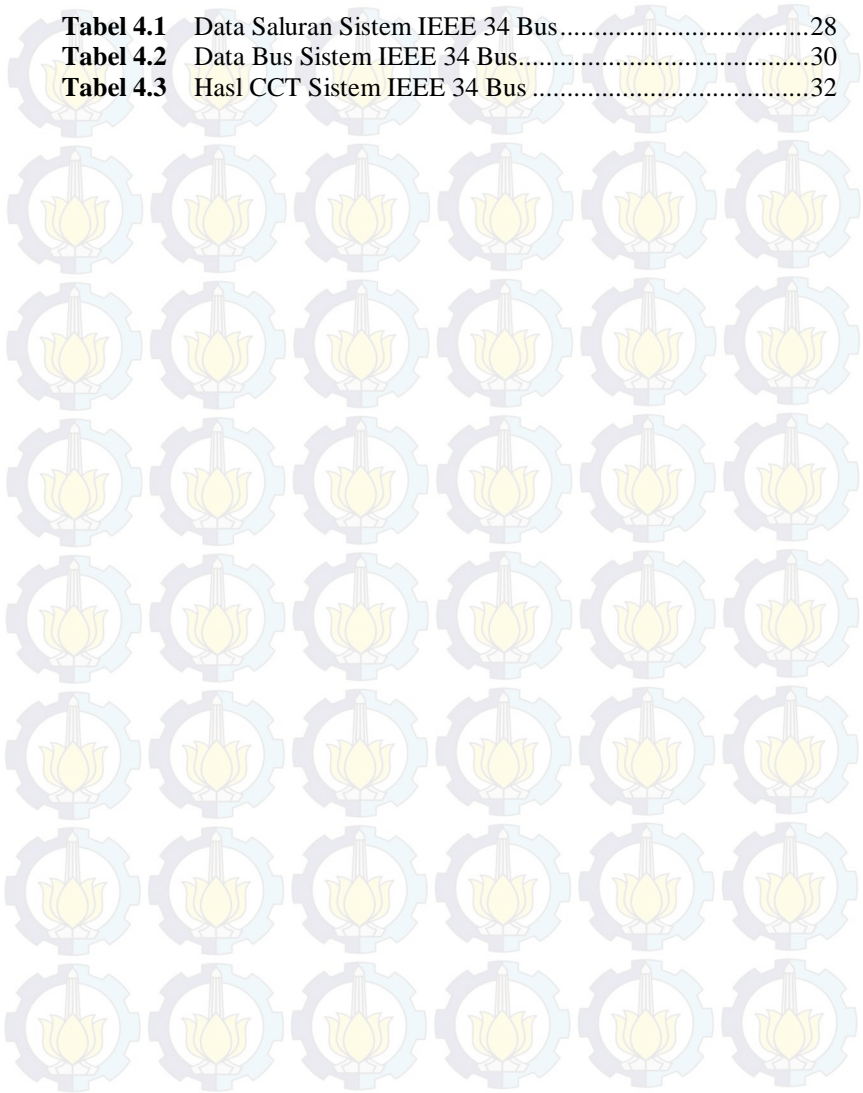
5.1	Kesimpulan.....	65
5.2	Saran.....	65

<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>67</b>
-----------------------------	-----------

<b>BIODATA PENULIS .....</b>	<b>69</b>
------------------------------	-----------

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 4.1</b>	Data Saluran Sistem IEEE 34 Bus.....	28
<b>Tabel 4.2</b>	Data Bus Sistem IEEE 34 Bus.....	30
<b>Tabel 4.3</b>	Hasil CCT Sistem IEEE 34 Bus .....	32







## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1.1</b>	Metodologi Tugas Akhir .....	4
<b>Gambar 2.1</b>	Klasifikasi Kestabilan Sistem Tenaga Listrik .....	7
<b>Gambar 2.2</b>	Respon Sudut Rotor Kondisi Stabil terhadap Gangguan Transien.....	9
<b>Gambar 2.3</b>	Respon Sudut Rotor Kondisi tidak Stabil terhadap Gangguan Transien.....	10
<b>Gambar 2.4</b>	Representasi Arah Rotasi dari Torsi Mekanik dan Elektrik.....	11
<b>Gambar 2.5</b>	<i>Damper Winding</i> .....	13
<b>Gambar 3.1</b>	<i>Flowchart Metode Time Domain Simulation</i> .....	15
<b>Gambar 3.2</b>	<i>Single Line Diagram</i> Contoh Analisis Menggunakan Metode <i>Network Topology</i> .....	17
<b>Gambar 3.3</b>	Pemodelan Generator.....	23
<b>Gambar 4.1</b>	Konfigurasi Sistem IEEE 34 Bus Radial .....	28
<b>Gambar 4.2</b>	Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) dalam <b>rad/s</b> terhadap sudut rotor ( $\delta$ ) dalam <b>rad</b> pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat mengalami gangguan di titik A.....	33
<b>Gambar 4.3</b>	Grafik karakteristik sudut rotor ( $\delta$ ) stabil dalam <b>rad</b> terhadap waktu ( <b>s</b> ) pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat gangguan terjadi di titik A.....	34
<b>Gambar 4.4</b>	Grafik karakteristik sudut rotor ( $\delta$ ) tidak stabil dalam <b>rad</b> terhadap waktu ( <b>s</b> ) pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat gangguan terjadi di titik A.....	34
<b>Gambar 4.5</b>	Grafik karakteristik sudut rotor ( $\delta$ ) stabil dan tidak stabil dalam <b>rad</b> terhadap waktu ( <b>s</b> ) pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat gangguan terjadi di titik A .....	35
<b>Gambar 4.6</b>	Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) stabil dalam <b>rad/s</b> terhadap waktu ( <b>s</b> ) pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat gangguan terjadi di titik A .	35
<b>Gambar 4.7</b>	Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) tidak stabil dalam <b>rad/s</b> terhadap waktu ( <b>s</b> ) pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat gangguan terjadi di titik A.....	36

<b>Gambar 4.8</b>	Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) stabil dan tidak stabil dalam <b>rad/s</b> terhadap waktu ( <b>s</b> ) pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat gangguan terjadi di titik A.....	36
<b>Gambar 4.9</b>	Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) dalam <b>rad/s</b> terhadap sudut rotor ( $\delta$ ) dalam <b>rad</b> pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat mengalami gangguan di titik B.....	37
<b>Gambar 4.10</b>	Grafik karakteristik sudut rotor ( $\delta$ ) stabil dalam <b>rad</b> terhadap waktu ( <b>s</b> ) pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat gangguan terjadi di titik B .....	38
<b>Gambar 4.11</b>	Grafik karakteristik sudut rotor ( $\delta$ ) tidak stabil dalam <b>rad</b> terhadap waktu ( <b>s</b> ) pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat gangguan terjadi di titik B .....	38
<b>Gambar 4.12</b>	Grafik karakteristik sudut rotor ( $\delta$ ) stabil dan tidak stabil dalam <b>rad</b> terhadap waktu ( <b>s</b> ) pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat gangguan terjadi di titik B .....	39
<b>Gambar 4.13</b>	Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) stabil dalam <b>rad/s</b> terhadap waktu ( <b>s</b> ) pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat gangguan terjadi di titik B .	39
<b>Gambar 4.14</b>	Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) tidak stabil dalam <b>rad/s</b> terhadap waktu ( <b>s</b> ) pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat gangguan terjadi di titik B.....	40
<b>Gambar 4.15</b>	Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) stabil dan tidak stabil dalam <b>rad/s</b> terhadap waktu ( <b>s</b> ) pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat gangguan terjadi di titik B.....	40
<b>Gambar 4.16</b>	Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) dalam <b>rad/s</b> terhadap sudut rotor ( $\delta$ ) dalam <b>rad</b> pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat mengalami gangguan di titik C.....	41
<b>Gambar 4.17</b>	Grafik karakteristik sudut rotor ( $\delta$ ) stabil dalam <b>rad</b> terhadap waktu ( <b>s</b> ) pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat gangguan terjadi di titik C .....	42



<b>Gambar 4.18</b>	Grafik karakteristik sudut rotor ( $\delta$ ) tidak stabil dalam <i>rad</i> terhadap waktu ( $s$ ) pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat gangguan terjadi di titik C.....	42
<b>Gambar 4.19</b>	Grafik karakteristik sudut rotor ( $\delta$ ) stabil dan tidak stabil dalam <i>rad</i> terhadap waktu ( $s$ ) pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat gangguan terjadi di titik C .....	43
<b>Gambar 4.20</b>	Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) stabil dalam <i>rad/s</i> terhadap waktu ( $s$ ) pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat gangguan terjadi di titik C..	43
<b>Gambar 4.21</b>	Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) tidak stabil dalam <i>rad/s</i> terhadap waktu ( $s$ ) pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat gangguan terjadi di titik C .....	44
<b>Gambar 4.22</b>	Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) stabil dan tidak stabil dalam <i>rad/s</i> terhadap waktu ( $s$ ) pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat gangguan terjadi di titik C .....	44
<b>Gambar 4.23</b>	Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) dalam <i>rad/s</i> terhadap sudut rotor ( $\delta$ ) dalam <i>rad</i> pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat mengalami gangguan di titik D.....	45
<b>Gambar 4.24</b>	Grafik karakteristik sudut rotor ( $\delta$ ) stabil dalam <i>rad</i> terhadap waktu ( $s$ ) pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat gangguan terjadi di titik D.....	46
<b>Gambar 4.25</b>	Grafik karakteristik sudut rotor ( $\delta$ ) tidak stabil dalam <i>rad</i> terhadap waktu ( $s$ ) pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat gangguan terjadi di titik D.....	46
<b>Gambar 4.26</b>	Grafik karakteristik sudut rotor ( $\delta$ ) stabil dan tidak stabil dalam <i>rad</i> terhadap waktu ( $s$ ) pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat gangguan terjadi di titik D .....	47
<b>Gambar 4.27</b>	Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) stabil dalam <i>rad/s</i> terhadap waktu ( $s$ ) pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat gangguan terjadi di titik D .	47
<b>Gambar 4.28</b>	Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) tidak stabil dalam <i>rad/s</i> terhadap waktu ( $s$ ) pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat gangguan terjadi di titik D.....	48

<b>Gambar 4.29</b>	Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) stabil dan tidak stabil dalam <b>rad/s</b> terhadap waktu ( <b>s</b> ) pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat gangguan terjadi di titik D.....	48
<b>Gambar 4.30</b>	Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) dalam <b>rad/s</b> terhadap sudut rotor ( $\delta$ ) dalam <b>rad</b> pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat mengalami gangguan di titik E.....	49
<b>Gambar 4.31</b>	Grafik karakteristik sudut rotor ( $\delta$ ) stabil dalam <b>rad</b> terhadap waktu ( <b>s</b> ) pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat gangguan terjadi di titik E.....	50
<b>Gambar 4.32</b>	Grafik karakteristik sudut rotor ( $\delta$ ) tidak stabil dalam <b>rad</b> terhadap waktu ( <b>s</b> ) pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat gangguan terjadi di titik E.....	50
<b>Gambar 4.33</b>	Grafik karakteristik sudut rotor ( $\delta$ ) stabil dan tidak stabil dalam <b>rad</b> terhadap waktu ( <b>s</b> ) pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat gangguan terjadi di titik E .....	51
<b>Gambar 4.34</b>	Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) stabil dalam <b>rad/s</b> terhadap waktu ( <b>s</b> ) pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat gangguan terjadi di titik E .	51
<b>Gambar 4.35</b>	Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) tidak stabil dalam <b>rad/s</b> terhadap waktu ( <b>s</b> ) pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat gangguan terjadi di titik E.....	52
<b>Gambar 4.36</b>	Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) stabil dan tidak stabil dalam <b>rad/s</b> terhadap waktu ( <b>s</b> ) pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat gangguan terjadi di titik E.....	52
<b>Gambar 4.37</b>	Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) dalam <b>rad/s</b> terhadap sudut rotor ( $\delta$ ) dalam <b>rad</b> pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat mengalami gangguan di titik F .....	53
<b>Gambar 4.38</b>	Grafik karakteristik sudut rotor ( $\delta$ ) stabil dalam <b>rad</b> terhadap waktu ( <b>s</b> ) pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat gangguan terjadi di titik F .....	54

<b>Gambar 4.39</b>	Grafik karakteristik sudut rotor ( $\delta$ ) tidak stabil dalam <b>rad</b> terhadap waktu ( $s$ ) pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat gangguan terjadi di titik F .....	54
<b>Gambar 4.40</b>	Grafik karakteristik sudut rotor ( $\delta$ ) stabil dan tidak stabil dalam <b>rad</b> terhadap waktu ( $s$ ) pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat gangguan terjadi di titik F .....	55
<b>Gambar 4.41</b>	Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) stabil dalam <b>rad/s</b> terhadap waktu ( $s$ ) pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat gangguan terjadi di titik F ..	55
<b>Gambar 4.42</b>	Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) tidak stabil dalam <b>rad/s</b> terhadap waktu ( $s$ ) pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat gangguan terjadi di titik F .....	56
<b>Gambar 4.43</b>	Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) stabil dan tidak stabil dalam <b>rad/s</b> terhadap waktu ( $s$ ) pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat gangguan terjadi di titik F .....	56
<b>Gambar 4.44</b>	Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) dalam <b>rad/s</b> terhadap sudut rotor ( $\delta$ ) dalam <b>rad</b> pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat mengalami gangguan di titik G .....	57
<b>Gambar 4.45</b>	Grafik karakteristik sudut rotor ( $\delta$ ) stabil dalam <b>rad</b> terhadap waktu ( $s$ ) pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat gangguan terjadi di titik G .....	58
<b>Gambar 4.46</b>	Grafik karakteristik sudut rotor ( $\delta$ ) tidak stabil dalam <b>rad</b> terhadap waktu ( $s$ ) pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat gangguan terjadi di titik G .....	58
<b>Gambar 4.47</b>	Grafik karakteristik sudut rotor ( $\delta$ ) stabil dan tidak stabil dalam <b>rad</b> terhadap waktu ( $s$ ) pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat gangguan terjadi di titik G .....	59
<b>Gambar 4.48</b>	Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) stabil dalam <b>rad/s</b> terhadap waktu ( $s$ ) pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat gangguan terjadi di titik G .	59



- Gambar 4.49** Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) tidak stabil dalam *rad/s* terhadap waktu (*s*) pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat gangguan terjadi di titik G ..... 60
- Gambar 4.50** Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) stabil dan tidak stabil dalam *rad/s* terhadap waktu (*s*) pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat gangguan terjadi di titik G..... 60
- Gambar 4.51** Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) dalam *rad/s* terhadap sudut rotor ( $\delta$ ) dalam *rad* pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat mengalami gangguan di titik H ..... 61
- Gambar 4.52** Grafik karakteristik sudut rotor ( $\delta$ ) stabil dalam *rad* terhadap waktu (*s*) pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat gangguan terjadi di titik H ..... 62
- Gambar 4.53** Grafik karakteristik sudut rotor ( $\delta$ ) tidak stabil dalam *rad* terhadap waktu (*s*) pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat gangguan terjadi di titik H ..... 62
- Gambar 4.54** Grafik karakteristik sudut rotor ( $\delta$ ) stabil dan tidak stabil dalam *rad* terhadap waktu (*s*) pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat gangguan terjadi di titik H ..... 63
- Gambar 4.55** Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) stabil dalam *rad/s* terhadap waktu (*s*) pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat gangguan terjadi di titik H. 63
- Gambar 4.56** Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) tidak stabil dalam *rad/s* terhadap waktu (*s*) pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat gangguan terjadi di titik H ..... 64
- Gambar 4.57** Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) stabil dan tidak stabil dalam *rad/s* terhadap waktu (*s*) pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat gangguan terjadi di titik H..... 64

## BIODATA PENULIS



**Azhar Ade Prasetya**, dilahirkan di kota Sidoarjo, Jawa Timur pada 04 September 1992. Penulis adalah putra dari pasangan Sugeng Harijadi dan Latifah Hanung. Memulai jenjang pendidikan di TK Aisyah Waru Sidoarjo, kemudian melanjutkan pendidikan formal di SDN Wedoro I Waru Sidoarjo, SMPN 1 Waru Sidoarjo, dan SMAN 1 Waru Sidoarjo hingga lulus pada tahun 2010. Pada tahun itu juga, penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang perguruan tinggi di Politeknik Elektronika Negeri Surabaya Institut Teknologi Sepuluh Nopember Program Studi D3 Teknik Elektro industri kemudian penulis melanjutkan pendidikan di S1 Teknik Elektro dengan bidang studi Teknik Sistem Tenaga Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Penulis dapat dihubungi melalui email [azhar.adeprasetya@gmail.com](mailto:azhar.adeprasetya@gmail.com)



*Halaman ini sengaja dikosongkan*



# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Kebutuhan energi listrik semakin meningkat seiring dengan semakin meningkatnya jumlah penduduk pada suatu wilayah baik untuk memenuhi kebutuhan energi listrik rumah tangga maupun kebutuhan energi listrik industri. Untuk memenuhi permintaan energi listrik tersebut, maka salah satu upaya yang bisa dilakukan adalah dengan memasang pembangkitan terdistribusi yang diintegrasikan pada jaringan distribusi PLN. Kestabilan sistem tenaga listrik merupakan hal yang harus diperhatikan agar kontinuitas penyaluran energi listrik tetap terjaga, sehingga kerugian-kerugian yang timbul akibat dari pemadaman listrik dapat diminimalisir. Salah satu parameter kestabilan sistem tenaga listrik adalah kestabilan sudut rotor pada generator, dalam hal ini generator yang dimaksud adalah generator dari pembangkitan terdistribusi.

Stabilitas sudut rotor adalah kemampuan dari generator untuk mempertahankan keadaan sinkronnya ketika terjadi suatu gangguan, baik dari gangguan besar maupun gangguan kecil. Keadaan sinkron adalah keadaan dimana interkoneksi mesin sinkron pada sistem tenaga tetap dalam kondisi sinkronnya. Beberapa hal yang dapat menyebabkan generator kehilangan kondisi sinkronnya antara lain adalah hubung singkat, pelepasan dan penambahan beban secara tiba-tiba serta kehilangan salah satu pembangkit. Hal tersebut yang akan membuat rotor mengalami perlambatan atau percepatan, sehingga selisih sudut rotor dengan stator akan berubah. Jika kondisi tersebut berlangsung lama dan tidak segera diatasi maka generator akan mengalami *Loss of Sinkron* sehingga generator harus dilepas dari sistem. waktu pelepasan generator ini yang biasa disebut *Critical Clearing Time (CCT)*.

### **1.2 Perumusan Masalah**

Perumusan Masalah yang akan dibahas pada tugas akhir ini adalah :

1. Bagaimana menggunakan metode *Time Domain Simulation* untuk menentukan nilai CCT untuk kestabilan sistem tenaga listrik.
2. Bagaimana menentukan nilai CCT yang sesuai, sehingga generator tetap dalam kondisi sinkronnya setelah terjadinya gangguan ?

### 1.3 Batasan Masalah

Dalam pengerjaan tugas akhir ini, permasalahan dibatasi sebagai berikut :

1. Metode yang digunakan untuk mencari CCT adalah menggunakan *Time Domain Simulation*
2. Sistem yang dipakai adalah sistem IEEE 34 Bus 1 phase
3. Simulasi menggunakan *software* MATLAB

### 1.4 Tujuan

Tugas akhir ini bertujuan untuk menentukan nilai CCT pada suatu sistem dengan banyak generator, sehingga hasilnya akan dapat memberikan gambaran nilai *setting* waktu rele yang sesuai dengan kestabilannya.

### 1.5 Metodologi

Metodologi penelitian yang dilakukan dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Studi literature  
Literature yang digunakan berasal dari *paper*, jurnal dan *text book*. Dalam studi literature dipelajari teori – teori tentang *Transient Stability*, cara menggunakan *Time Domain Simulation* untuk menentukan CCT serta perancangan perangkat lunak menggunakan Matlab.
2. Pengumpulan data  
Data yang digunakan meliputi data bus dan data saluran. Data bus terdiri atas data beban yang digunakan untuk mendapatkan nilai daya aktif dan daya reaktif pada setiap cabang. Data saluran terdiri atas resistansi dan reaktansi tiap saluran.

### 3. Pemodelan

Setelah dilakukan studi literatur, penulis melakukan pemodelan awal tentang rancangan awal metode *Time Domain Simulation*. Dari pemodelan ini didapatkan alur metode *Time Domain Simulation* untuk menentukan nilai CCT yang sesuai.

### 4. Perancangan perangkat lunak

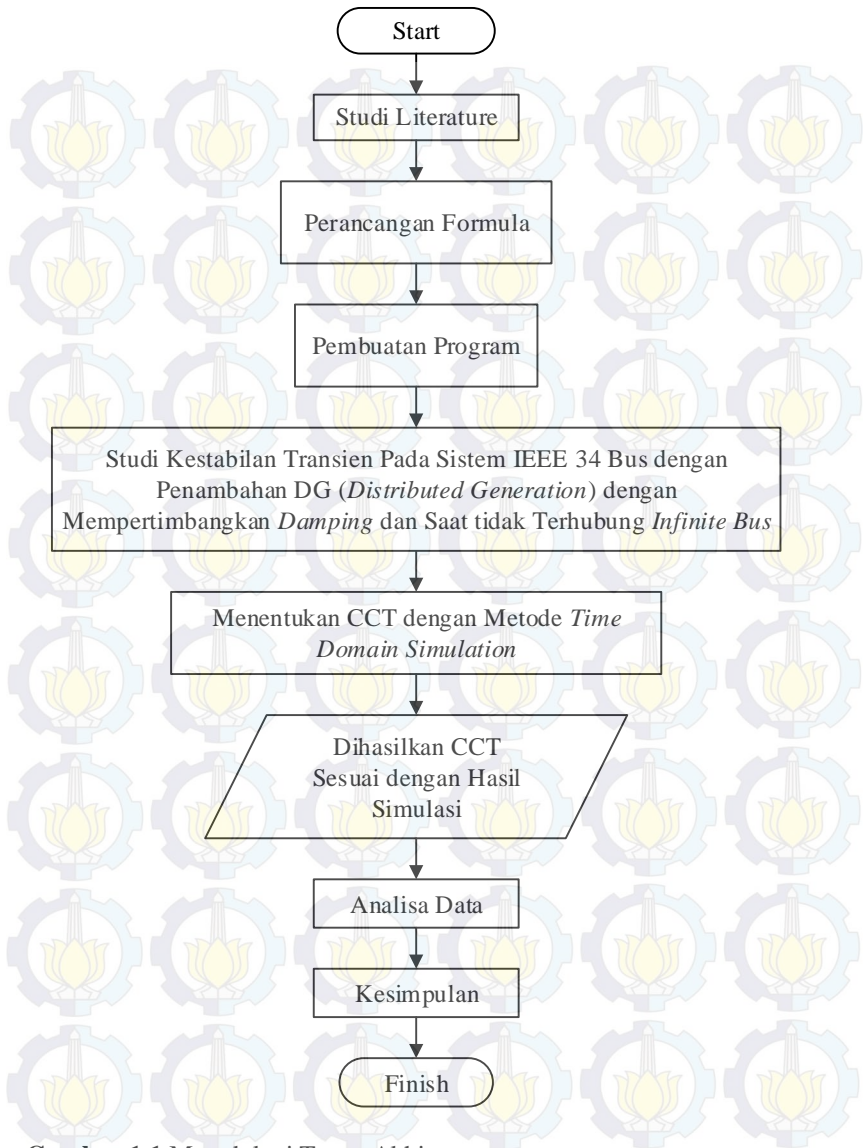
Setelah dilakukan pemodelan sehingga penulis mendapatkan alur dari metode *Time Domain Simulation*, kemudian penulis melakukan listing program pada *Software* MATLAB yang digunakan untuk menentukan CCT.

### 5. Simulasi dan analisis

Setelah melakukan perancangan perangkat lunak, simulasi dilakukan dengan menggunakan sistem IEEE 34 bus. Dari simulasi yang dilakukan maka akan didapatkan nilai CCT yang sesuai kemudian data hasil simulasi akan dinalisis.

### 6. Penulisan buku

Hasil penelitian yang telah dilakukan dilaporkan dalam bentuk laporan tugas akhir dan paper. Laporan berisi metode dan kesimpulan dari penelitian.



**Gambar 1.1** Metodologi Tugas Akhir



## 1.6 Sistematika Penulisan

Laporan Tugas Akhir ini disusun dalam suatu sistematika sebagai berikut :

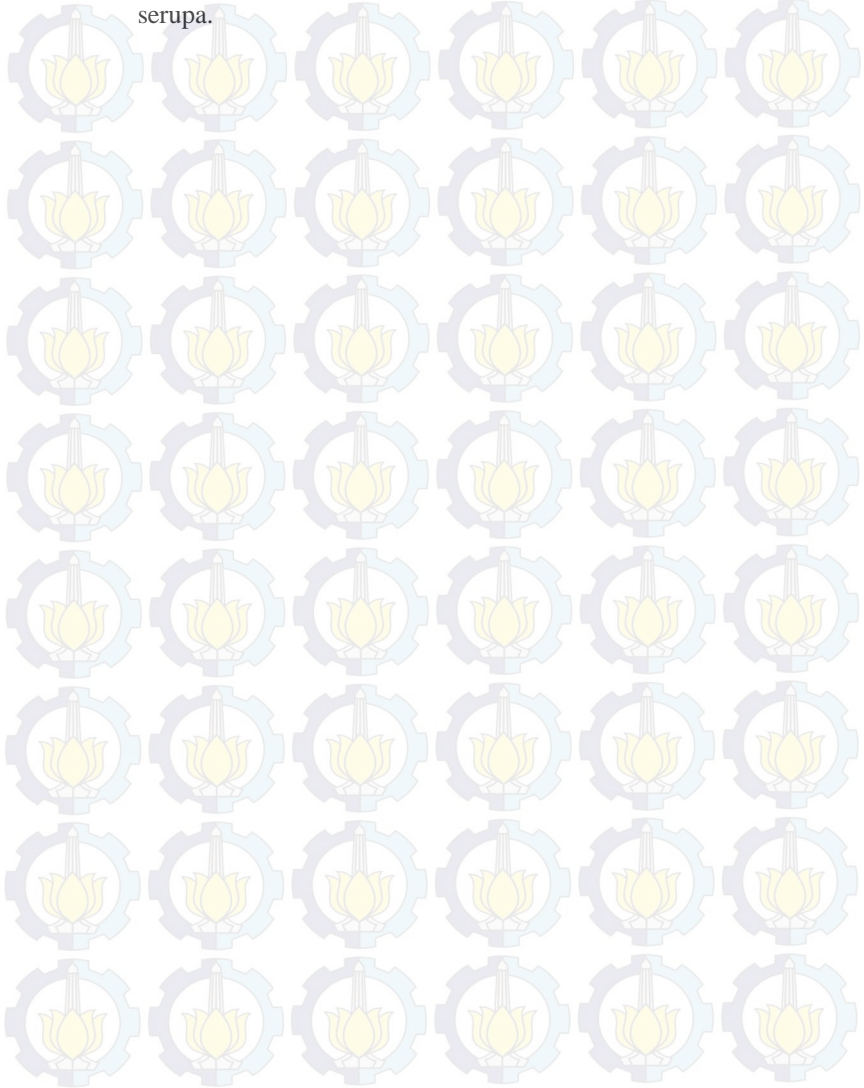
- Bab 1  
Bab ini akan menjelaskan tentang pendahuluan tugas akhir yang membahas mengenai latar belakang, tujuan penelitian, permasalahan, batasan masalah, metodologi, sistematika penulisan dan relevansi dari Tugas Akhir.
- Bab 2  
Bab ini akan menjelaskan tentang teori-teori kestabilan transien yang digunakan dalam tugas akhir ini. Teori-teori tersebut meliputi kestabilan sistem tenaga listrik, kestabilan transien, persamaan ayunan (*swing equation*), dan CCT.
- Bab 3  
Bab ini akan menjelaskan tentang alur atau langkah-langkah yang dilakukan dalam menentukan nilai CCT dengan metode *Time Domain Simulation*, serta akan dilakukan penjabaran tentang metode yang digunakan.
- Bab 4  
Bab ini berisi tentang hasil simulasi dan analisa data dari nilai CCT yang didapatkan. Analisa dilakukan untuk melihat apakah nilai CCT yang didapatkan sudah sesuai atau tidak.
- Bab 5  
Kesimpulan Tugas Akhir yang mengemukakan hasil pembahasan dan saran-saran sehubungan dengan pokok-pokok pembahasan.

## 1.7 Relevansi

Hasil yang diperoleh dari Tugas Akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat berikut :

1. Memberikan kontribusi terhadap perkembangan sistem kelistrikan, khususnya pada permasalahan yang terkait dalam kestabilan transien.
2. Dapat meningkatkan penguasaan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (IPTEK) di bidang Sistem Tenaga listrik bagi pengusul Tugas Akhir.

3. Dapat menjadi referensi bagi mahasiswa lain yang akan mengambil Tugas Akhir yang mengambil masalah yang serupa.



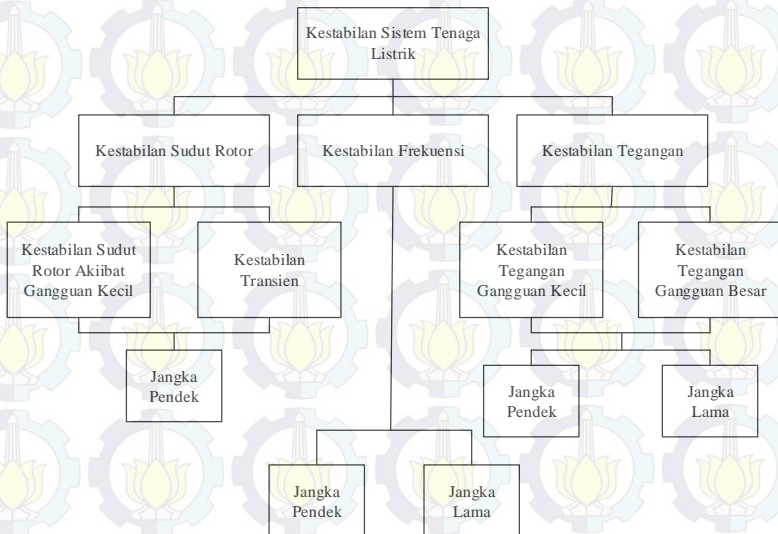


## **BAB II**

### **KESTABILAN TRANSIEN**

#### **2.1 Kestabilan Sistem Tenaga Listrik**

Berdasarkan referensi [1], kestabilan sistem tenaga listrik secara umum dapat didefinisikan sebagai kemampuan dari sistem tenaga listrik untuk kembali pada kondisi normal setelah terjadi gangguan. Kondisi normal yang dimaksud adalah kondisi dimana kestabilan tegangan, kestabilan frekuensi dan kestabilan sudut rotor tetap dalam batas-batas kestabilannya. Pada gambar 2.1 ditunjukkan pengklasifikasian kestabilan sistem tenaga listrik sehingga dapat mempermudah dalam melakukan analisa kestabilan.



**Gambar 2.1** Klasifikasi Kestabilan Sistem Tenaga Listrik

Berdasarkan referensi [2], gangguan-gangguan yang menyebabkan ketidakstabilan diklasifikasikan menjadi 2 macam jenis gangguan.

Gangguan yang pertama adalah gangguan-gangguan yang sifatnya kecil seperti sebuah perubahan *gain* pada *Automatic Voltage Regulator* (AVR) pada sistem eksitasi dan fluktuasi perubahan beban secara terus menerus bisa dikategorikan menjadi gangguan kecil. Gangguan yang kedua adalah gangguan-gangguan yang sifatnya besar seperti hubung singkat, perubahan beban besar yang mendadak dan kehilangan salah satu unit pembangkit bisa dikategorikan menjadi gangguan besar.

### **2.1.1 Kestabilan Tegangan**

Berdasarkan referensi [3], kestabilan tegangan adalah kemampuan dari suatu sistem tenaga untuk tetap mempertahankan nilai tegangan pada kondisi operasi normal pada setiap bus setelah terjadi gangguan kecil atau gangguan besar dalam jangka pendek atau jangka panjang.

Kestabilan tegangan gangguan besar adalah kemampuan sistem untuk mempertahankan nilai tegangan pada kondisi normal setelah terjadinya gangguan besar seperti *generator outage* atau terjadi hubung singkat. Kemampuan sistem dapat dilihat dari respon interaksi dari pengatur tegangan seperti *Tap Changer* trafo dan sistem proteksi.

Kestabilan tegangan gangguan kecil adalah kemampuan sistem untuk mempertahankan nilai tegangan pada kondisi normal setelah terjadinya gangguan kecil seperti perubahan kecil pada sistem beban.

### **2.1.2 Kestabilan Frekuensi**

Berdasarkan referensi [5], kestabilan frekuensi adalah kemampuan dari suatu sistem tenaga untuk tetap mempertahankan nilai frekuensi fundamental atau nilai frekuensi pada kondisi operasi normal setelah terjadi gangguan. Gangguan perubahan frekuensi biasanya dikarenakan tidak seimbangnya antara daya pembangkitan dengan daya beban. Kemampuan sistem dapat dilihat dari respon dari pengatur frekuensi yaitu *governor*.

### **2.1.3 Kestabilan Sudut Rotor**

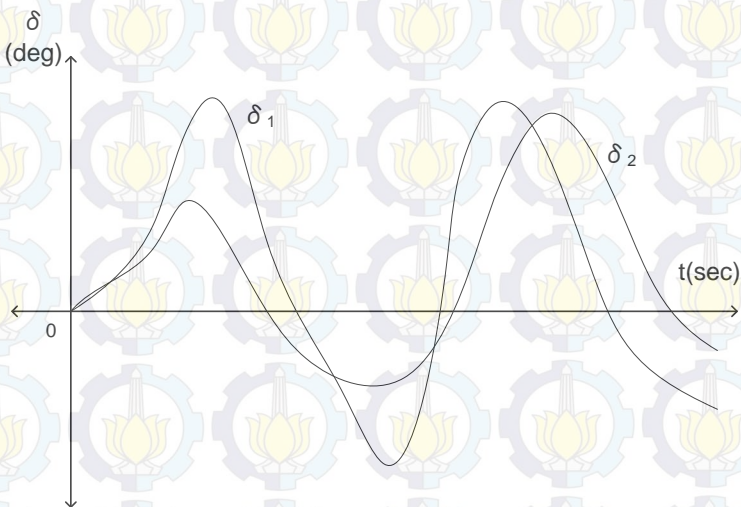
Berdasarkan referensi [3], kestabilan sudut rotor adalah kemampuan dari interkoneksi mesin sinkron dari suatu sistem tenaga untuk tetap dalam kondisi sinkronnya setelah terjadi gangguan kecil atau gangguan besar.

Kestabilan sudut rotor gangguan kecil atau yang biasa disebut *Small Signal Stability* adalah kemampuan sistem tenaga untuk mempertahankan kondisi sinkronnya setelah terjadi gangguan kecil seperti perubahan-perubahan kecil yang terus menerus pada daya beban atau daya pembangkitan.

Kestabilan sudut rotor gangguan besar atau yang biasa disebut *Transient Stability* adalah kemampuan sistem tenaga untuk mempertahankan kondisi sinkronnya setelah terjadinya gangguan besar seperti *generator outage* atau hubung singkat.

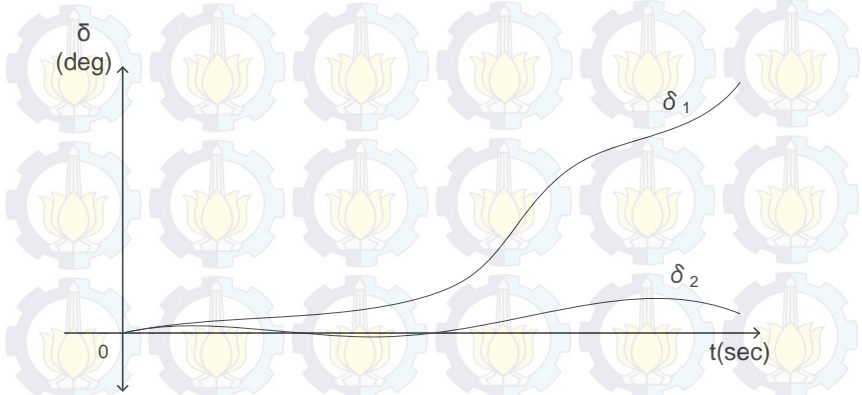
## 2.2 Kestabilan Transien

Kestabilan transien adalah kemampuan sistem tenaga untuk mempertahankan kondisi sinkronnya setelah terjadinya gangguan besar. Respon sistem yang dihasilkan dari kestabilan transien dapat dilihat dari hubungan nonlinier sudut daya generator.



**Gambar 2.2** Respon Sudut Rotor Kondisi Stabil terhadap Gangguan Transien

Berdasarkan referensi [4], gambar 2.2 mengilustrasikan kondisi 2 generator untuk kondisi stabil, ketika gangguan diputus dibawah nilai CCT-nya maka diperlihatkan bahwa sudut daya antara kedua generator memiliki nilai yang berbeda, tetapi kedua generator tersebut akan berayun bersama kembali sehingga sistem akan menemukan titik kestabilan yang baru.



**Gambar 2.3** Respon Sudut Rotor Kondisi tidak Stabil terhadap Gangguan Transien

Gambar 2.3 mengilustrasikan kondisi 2 generator untuk kondisi tidak stabil, ketika gangguan diputus diatas nilai CCT-nya maka diperlihatkan bahwa sudut daya antara kedua generator akan terpisah sehingga tidak akan bertemu kembali pada satu titik.

### 2.3 Persamaan Ayunan (Swing Equation)

Persamaan ayunan dari sebuah mesin sinkron memiliki hubungan dengan persamaan gerak rotor, dimana kita dapat menuliskannya sebagai berikut :

$$J \frac{d^2 \omega_r}{dt^2} = T_a = T_m - T_e \quad (2.4.1)$$



Dimana :

$J$  = Total momen inersia ( $\text{kg-m}^2$ )

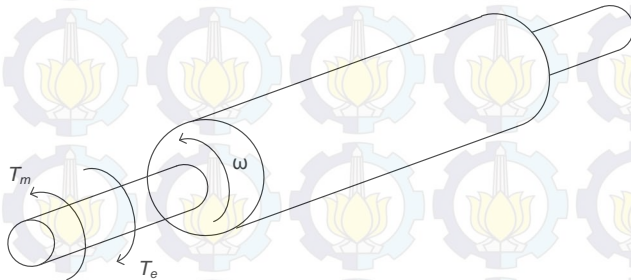
$\omega_r$  = Perpindahan sudut dari rotor terhadap sumbu yang diam (rad)

$T_m$  = Torsi mekanik (N-m)

$T_e$  = Torsi elektrik (N-m)

$T_a$  = Torsi percepatan atau perlambatan (N-m)

Berdasarkan referensi [5], dalam hubungan kinerja inersia mesin terhadap sistem secara keseluruhan, akan lebih berguna untuk menuliskan persamaan ayunan kedalam sudut elektrik yang berhubungan dengan posisi rotor dari sebuah mesin sinkron. Berdasarkan referensi [2], pada saat kondisi normal,  $T_m$  adalah sama dengan  $T_e$  sehingga tidak ada torsi percepatan atau perlambatan  $T_a$ . Pada kasus ini tidak timbul percepatan atau perlambatan dari rotor dan kecepatan konstan yang dihasilkan adalah kecepatan sinkron. Perputaran massa yang termasuk rotor dari generator dan *prime mover* dapat dikatakan dalam kondisi sinkronnya dengan pengoperasian mesin lain pada kecepatan sinkron pada suatu sistem tenaga. Torsi mekanik ( $T_m$ ) diatas dianggap konstan pada setiap kondisi operasinya, asumsi ini dianggap adil karena masukan dari *prime mover* dikontrol oleh *governor*. *Governor* tidak bekerja sampai perubahan kecepatan dirasakan sehingga *governor* dianggap tidak efektif selama periode waktu dimana perubahan dinamika rotor pada studi kestabilan ini.



**Gambar 2.4** Representasi Arah Rotasi dari Torsi Mekanik dan Elektrik

Berdasarkan referensi [6], untuk mengamati sebuah sistem stabil secara transien atau tidak selama gangguan, diperlukan sudut rotor untuk berosilasi disekitar titik keseimbangannya. Jika sudut rotor meningkat secara terus menerus, maka bisa dikatakan mesin tersebut tidak stabil secara transien. Pada sistem multimesin, mesin tersebut keluar dari kehilangan kondisi sinkronnya dengan mesin yang lain.

## 2.4 Pembangkitan Terdistribusi (*Distributed Generation*)

Berdasarkan referensi [7], pembangkitan terdistribusi adalah penggunaan pembangkit dengan kapasitas kecil yang terpasang pada titik-titik strategis dari suatu sistem tenaga listrik atau lokasi pusat beban. Pembangkitan terdistribusi dapat digunakan untuk menyuplai permintaan daya untuk konsumen lokal atau diintegrasikan ke dalam *grid* untuk memberikan daya tambahan pada *grid*.

Pembangkitan terdistribusi dapat diaplikasikan pada banyak cara, beberapa contohnya adalah sebagai berikut :

- Untuk kestabilan jaringan pada penggunaan peralatan dengan respon yang cepat untuk pemeliharaan keamanan sistem transmisi.
- DG dapat menyediakan tenaga cadangan selama sistem utiliti putus, untuk fasilitas-fasilitas umum yang membutuhkan pelayanan kontinyu.
- DG dapat menyediakan kualitas daya yang lebih baik untuk peralatan elektronik.
- Untuk suplai daya reaktif dan pengatur tegangan dari pembangkitan dengan meng-injeksikan dan menyerap daya reaktif untuk mengontrol tegangan pada *grid*.

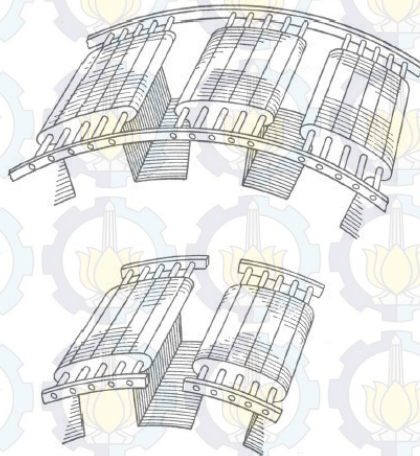
Pembangkitan terdistribusi dapat menyediakan keuntungan untuk konsumen, beberapa contohnya adalah sebagai berikut :

- DG dapat menyediakan keandalan dan kualitas daya yang baik yang dibutuhkan oleh industri, terutama ketika dikombinasikan dengan penyimpanan energi dan teknologi kualitas daya.
- Biaya transmisi dapat direduksi karena letak pembangkitan yang dekat dengan beban.

## 2.5 Kumputan Peredam (*Damper Winding*)

Kumputan peredam atau *damper winding* merupakan kumputan atau batangan yang terbuat dari plat besi yang dihubungkan singkat (tertutup) yang diletakkan pada slot-slot pada rotor mesin sinkron yang berfungsi untuk meredam osilasi rotor ketika berputar. Ketika motor berada pada kecepatan sinkronnya, tidak ada fluks yang terpotong oleh *damper winding* sehingga tidak ada tegangan induksi didalamnya. Namun, ketika terjadi osilasi, terdapat fluks yang terpotong oleh *damper winding* sehingga muncul tegangan induksi. Karena *damper winding* adalah sebuah rangkaian tertutup, maka timbul arus. Karena stator memberikan fluks, maka pada *damper winding* akan timbul gaya yang berfungsi untuk meredam osilasi. Perlu diingat, osilasi yang dapat diredam oleh *damper winding* merupakan osilasi skala kecil. Untuk osilasi skala besar, digunakan *power system stabilizer*. Dimana dilakukan eksitasi yang masuk ke rotor. Dalam hal ini, *damper winding* sedikit membantu untuk memperbaiki stabilitas suatu sistem. hingga saat ini *damper winding* banyak digunakan untuk membantu dalam *starting* motor sinkron.

Berikut gambaran dari *damper winding* yang telah dipasangkan pada rotor mesin sinkron :



**Gambar 2.5** *Damper Winding*[8]

## 2.6 Waktu Pemutusan Kritis (*Critical Clearing Time*)

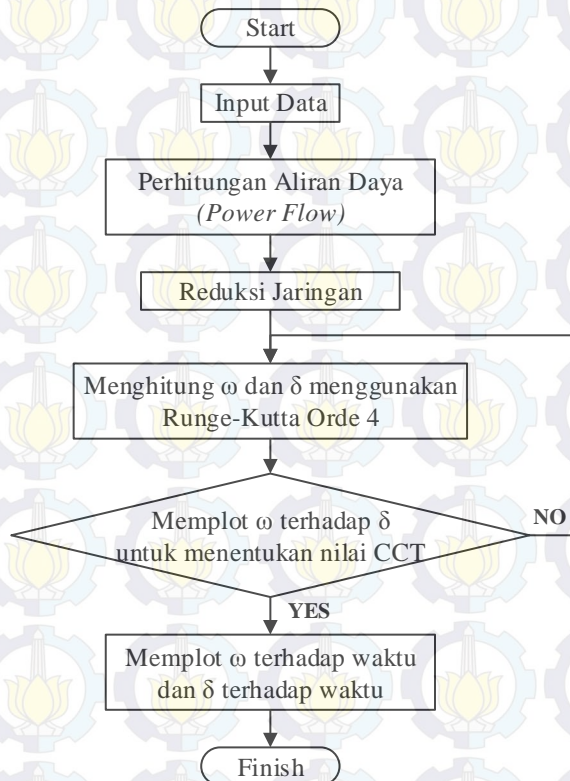
CCT atau *critical clearing time* adalah waktu maksimal yang diijinkan untuk CB (*Circuit Breaker*) membuka (*open*) ketika terjadi gangguan. Pada umumnya suatu sistem proteksi, ketika terjadi gangguan pada bus atau wilayah tertentu, maka CB terdekat akan memutuskan gangguan sekitar 0.2-0.3 *second*, namun waktu tersebut belum mampu menjamin kestabilan suatu sistem karena waktu pembukaan CB harus kurang dari waktu CCT nya. CCT ini digunakan untuk rekomendasi *setting waktu* CB yang terdekat dengan generator. Jadi ketika terjadi suatu gangguan transien berupa *generator outage* atau hubung singkat, maka generator akan dapat dikatakan stabil jika CB bekerja dibawah nilai CCT generator tersebut. Namun apabila CB bekerja diatas nilai CCT generator, maka generator akan mengalami ketidakstabilan yang dapat mengakibatkan semakin luasnya wilayah pemadaman hingga *blackout* total.



### BAB III

## PEMODELAN SISTEM

Pada tugas akhir ini parameter terakhir yang didapat adalah nilai CCT. Untuk mendapatkan nilai CCT tersebut diperlukan beberapa langkah yang akan menjadi alur dalam perhitungan nilai CCT. Gambar 3.1 berikut adalah *flowchart* dari metode *Time Domain Simulation* :



**Gambar 3.1** *Flowchart* Metode *Time Domain Simulation*

### 3.1 Perhitungan Aliran Daya (*Power Flow*)

Dalam alur perhitungan CCT, perhitungan aliran daya merupakan langkah awal. Dalam proses perhitungan aliran daya ini, akan dilakukan pembacaan data pada sistem IEEE sehingga akan dapat dilakukan pemilahan-pemilahan data sesuai dengan nama data yang ditentukan seperti pengelompokan bus generator, bus beban dan bus *slack* serta dilakukan pembentukan matriks  $Y_{Bus}$ .

$$Y_{bus} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \dots & Y_{1n} \\ Y_{21} & Y_{22} & \dots & Y_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Y_{n1} & Y_{n2} & \dots & Y_{nn} \end{bmatrix} \quad (3.1.1)$$

Setelah dilakukan pembacaan data maka akan dilakukan perhitungan. Tujuan utama dari sebuah perhitungan aliran daya adalah untuk menemukan daya aktif dan daya reaktif yang mengalir disetiap saluran dengan magnitude dan sudut fasa tegangan pada setiap bus dari sebuah sistem dengan kondisi pembebanan spesifik.

Untuk melakukan analisa aliran daya dengan menggunakan metode *forward-backward sweep* pada jaringan radial, jaringan radial tersebut direpresentasikan seperti pohon dengan bus pertama sebagai akar atau *slack* bus dan bus lain sebagai percabangannya. Metode *forward-backward sweep* ini menggunakan prinsip hukum Kirchoff untuk perhitungan arus di setiap salurannya, langkah kerja metode *forward-backward sweep* yang pertama adalah *forward sweep* dengan mengasumsikan tegangan pada bus beban terjauh adalah bernilai sama dengan tegangan bus pertama, kemudian menghitung arus yang mengalir pada saluran tersebut. Hal tersebut dilakukan hingga bus pertama. Jika terdapat *error* yang melebihi nilai toleransi yang diinginkan maka nilai tegangan tiap bus belum berada pada nilai yang sesungguhnya kemudian dilakukan langkah yang kedua yaitu *backward sweep* untuk menghitung nilai tegangan pada bus dengan data-data yang didapatkan pada *forward sweep* hingga didapatkan nilai tegangan yang memiliki *error* sesuai dengan nilai toleransi.

Untuk menghitung arus cabang didapatkan dari hubungan daya kompleks dan tegangan pada setiap bus seperti persamaan 3.1.2 dibawah ini :

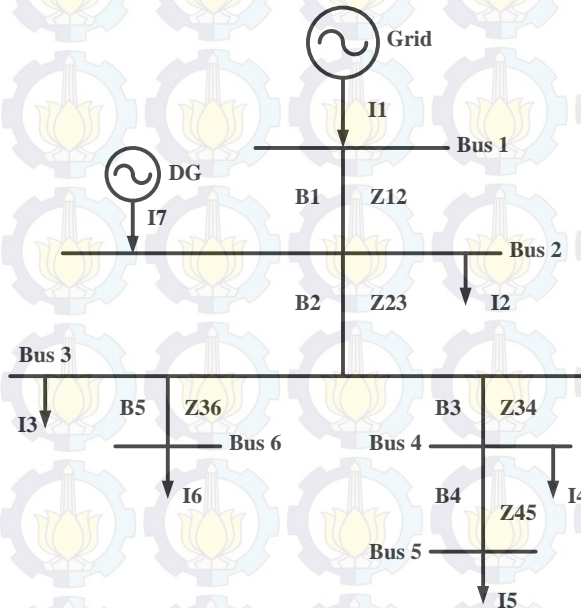
$$i_i^k = \text{conj}\left(\frac{P_i + Q_i}{V_i^k}\right) \quad (3.1.2)$$

Dimana :

$i_i^k$  = Arus yang mengalir pada bus-i pada saat iterasi ke-k  
 $V_i^k$  = Tegangan pada bus-i pada saat iterasi ke-k

### 3.1.1 Metode *Forward-Backward Sweep*

Sebelum mengimplementasikan metode *forward-backward sweep* diperlukan modifikasi perhitungan untuk memudahkan dalam membentuk persamaan dan proses iterasi salah satunya adalah dengan menggunakan metode *network topology*.



**Gambar 3.2** *Single Line Diagram* Contoh Analisis Menggunakan Metode *Network Topology*

Sebuah sistem jaringan sederhana seperti gambar 3.2 dengan model jaringan radial yang disuplai oleh *grid* dan sebuah *distributed*

generation dengan menyuplai beban yang tersebar pada jalur tertentu. Dari gambar diatas didapatkan persamaan arus yang mengalir pada setiap bus sebagai berikut :

$$B_5 = I_6 \quad (3.1.3)$$

$$B_4 = I_5 \quad (3.1.4)$$

$$B_3 = I_4 + I_5 \quad (3.1.5)$$

$$B_2 = I_3 + I_4 + I_5 + I_6 \quad (3.1.6)$$

$$B_1 = I_2 + I_3 + I_4 + I_5 + I_6 - I_7 \quad (3.1.7)$$

Persamaan arus yang mengalir pada setiap bus diatas dapat diringkas dan dituliskan dalam sebuah matrik sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \\ B_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \\ I_6 \\ I_7 \end{bmatrix} \quad (3.1.8)$$

Persamaan matrik diatas dapat dirumuskan menjadi model persamaan dengan komponen matrik BIBC (*Bus Injection to Branch Current*).

$$[B] = [BIBC][I] \quad (3.1.9)$$

Maka drop tegangan dapat dihitung menjadi sebagai berikut :

$$V_1 - V_2 = B_1 \cdot Z_{12} \quad (3.1.10)$$

$$V_1 - V_3 = B_1 \cdot Z_{12} + B_2 \cdot Z_{23} \quad (3.1.11)$$

$$V_1 - V_4 = B_1 \cdot Z_{12} + B_2 \cdot Z_{23} + B_3 \cdot Z_{34} \quad (3.1.12)$$

$$V_1 - V_5 = B_1 \cdot Z_{12} + B_2 \cdot Z_{23} + B_3 \cdot Z_{34} + B_4 \cdot Z_{45} \quad (3.1.13)$$

$$V_1 - V_6 = B_1 \cdot Z_{12} + B_2 \cdot Z_{23} + B_5 \cdot Z_{36} \quad (3.1.14)$$

$$V_1 - V_7 = B_1 \cdot Z_{12} \quad (3.1.15)$$



Dari persamaan di atas dapat dibentuk dan diselesaikan menggunakan suatu bentuk matrik dengan komponen matrik BCBV (*Branch Current to Branch Voltage*).

$$\begin{bmatrix} V_1 - V_2 \\ V_1 - V_3 \\ V_1 - V_4 \\ V_1 - V_5 \\ V_1 - V_6 \\ V_1 - V_7 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & Z_{36} & 0 \\ Z_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \\ B_6 \end{bmatrix} \quad (3.1.16)$$

Kemudian dilakukan penyederhanaan menjadi berikut :

$$[\Delta V] = [BCBV][B] \quad (3.1.17)$$

Sehingga, untuk mendapatkan nilai  $\Delta V$  didapatkan persamaan akhir sebagai berikut :

$$[\Delta V] = [BCBV][BIBC][I] \quad (3.1.18)$$

$$[\Delta V] = [DLF][I] \quad (3.1.19)$$

Kemudian setelah kita mendapatkan matrik BIBC, BCBV dan  $\Delta V$  kita dapat menghitung nilai tegangan pada setiap bus dengan persamaan sebagai berikut :

$$[V_i] = [V_i] - [\Delta V] \quad (3.1.20)$$

Metode K-matrik merupakan metode pembentukan matrik impedansi dengan melakukan penelusuran alur/*path* saluran distribusi. Jalur saluran distribusi direpresentasikan dalam sebuah matrik yang menunjukkan arah arus injeksi dari suatu bus ke bus yang lain. Untuk membentuk K-matrik digunakan aturan penelusuran jalur.

- $k_{ij} = 1$ , jika cabang  $i$  berada pada jalur antara bus  $j$  dan bus referensi dan memiliki arah yang sama
- $k_{ij} = -1$ , jika cabang  $i$  berada pada jalur antara bus  $j$  dan bus referensi dan memiliki arah yang berlawanan
- $k_{ij} = 0$ , jika cabang  $i$  tidak berada pada jalur antara bus  $j$  dan bus referensi

Hubungan antara matrik BIBC dengan K-Matrik adalah sebagai berikut :

$$[BIBC] = -[K - \text{Matrik}] \quad (3.1.21)$$

Elemen-elemen pembentuk K-Matrik adalah :

- elemen baris adalah nomor cabang
- elemen kolom adalah nomor bus (tidak termasuk bus referensi)

Maka untuk contoh single line diagram pada gambar 3.2, K-Matrik-nya adalah

$$K = \begin{matrix} B1 \\ B2 \\ B3 \\ B4 \\ B5 \\ B6 \end{matrix} \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 \\ 0 & -1 & -1 & -1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \quad (3.1.22)$$

Pada contoh sebelumnya, dapat disimpulkan persamaan menghitung drop tegangan.

$$[\Delta V] = [BCBV][BIBC][I] \quad (3.1.23)$$

$$\begin{bmatrix} V_1 - V_2 \\ V_1 - V_3 \\ V_1 - V_4 \\ V_1 - V_5 \\ V_1 - V_6 \\ V_1 - V_7 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & Z_{36} & 0 \\ Z_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \\ I_6 \\ I_7 \end{bmatrix} \quad (3.1.24)$$

Sedangkan bila matrik BIBC kita transpose komposisinya maka akan terbentuk matrik yang berkorelasi dengan matrik BCBV.

$$BIBC' = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \quad (3.1.25)$$

Apabila matrik BIBC' dikalikan per komponen (perkalian dot) dengan matrik impedansi *full branch*, maka akan didapatkan matrik BCBV.

$$BCBV = -[K - \text{Matrik}]' * [\text{Impedansi Saluran}] \quad (3.1.26)$$

$$BCBV = - \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & Z_{36} & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & Z_{36} & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & Z_{36} & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & Z_{36} & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & Z_{36} & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & Z_{36} & 0 \end{bmatrix} \quad (3.1.27)$$

Sehingga, untuk metode K-matrik dapat disimpulkan formula mencari drop tegangan di tiap saluran.

$$[\Delta V] = -[K - \text{Matrik}]' * [\text{Impedansi Saluran}] * -[K - \text{Matrik}] * [I] \quad (3.1.28)$$

Pada bus yang terpasang *distributed generation* digunakan mode operasi PV bus yang berfungsi untuk menjaga tegangan pada bus tersebut. Penjagaan tegangan dilakukan dengan cara penambahan atau pengurangan nilai Q(MVAR) hingga tegangan bernilai 1 pu. Penambahan atau pengurangan nilai Q(MVAR) dilakukan dengan menambah atau mengurangi nilai Q(MVAR) setengah dari nilai Q(MVAR) awal hingga mencapai nilai Qmaks yang telah ditentukan. Jika nilai tegangan pada bus sudah bernilai 1 pu maka nilai Q(MVAR) terakhir tersebut yang akan digunakan, namun jika nilai Q(MVAR) sudah mencapai nilai Qmaks dan tegangan pada bus belum bernilai 1 pu maka nilai Qmaks & tegangan terakhir yang digunakan.

### 3.2 Reduksi Jaringan

Reduksi jaringan adalah suatu proses algoritma yang bertujuan untuk menyederhanakan persamaan matrik  $Y_{bus}$  menjadi sebuah matrik jaringan ekuivalen yang berisi bus-bus yang terhubung dengan beban maupun generator. Semua bus selain bus yang terhubung dengan beban dan generator akan dieleminasi karena pada bus tersebut nilai arus akan selalu bernilai nol karena arus yang masuk sama dengan arus yang keluar, bus ini biasanya disebut dengan bus pasif. Sebagai contoh :

$$\begin{bmatrix} 0 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & Y_{13} & Y_{14} \\ Y_{21} & Y_{22} & Y_{23} & Y_{24} \\ Y_{31} & Y_{32} & Y_{33} & Y_{34} \\ Y_{41} & Y_{42} & Y_{43} & Y_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \end{bmatrix} \quad (3.2.1)$$

Sistem diatas akan menjadi sistem 3 x 3 setelah dilakukan reduksi jaringan

$$\begin{bmatrix} I_2 \\ I_3 \\ I_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{22}^{(1)} & Y_{23}^{(1)} & Y_{24}^{(1)} \\ Y_{32}^{(1)} & Y_{33}^{(1)} & Y_{34}^{(1)} \\ Y_{42}^{(1)} & Y_{43}^{(1)} & Y_{44}^{(1)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_2 \\ V_3 \\ V_4 \end{bmatrix} \quad (3.2.2)$$

Dari contoh diatas dapat dilihat bahwa bus atau *node* dengan injeksi nilai arus sama dengan nol dieleminasi, hal ini yang disebut dengan reduksi Kron atau juga dapat disebut dengan eliminasi *node*.

Sebagai contoh jika  $I_i = 0$  (bus-i adalah bus pasif) pada n-bus sistem, kita langsung dapat menghitung sebuah matrik jaringan ekuivalen baru dengan mereduksi matrik  $Y_{bus}$  dengan memilih  $Y_{ii}$  sebagai poros dengan mengeleminasi bus i menggunakan persamaan :

$$Y_{jk}^{(new)} = Y_{jk} - \frac{Y_{ji} Y_{ik}}{Y_{ii}} \quad (3.2.3)$$

Dimana  $j$  dan  $k$  adalah bilangan *integer* dari 1 hingga  $n$  (jumlah bus sistem) kecuali  $i$ , karena kolom dan baris sudah dieleminasi. Sehingga nilai  $Y_{jk}^{(new)}$  membedakan elemen pada matrik jaringan ekuivalen baru dari segi dimensi dan nilai komponen-komponennya dengan matrik  $Y_{bus}$ . Dimensi dari matrik jaringan ekuivalen tersebut adalah  $(n \times n)$  dimana  $n$  adalah jumlah dari generator.

### 3.3 Persamaan Ayunan (Swing Equation)

Untuk melakukan perhitungan CCT, sudut rotor adalah faktor yang diperhitungkan sehingga untuk merepresentasikan gerakan pada rotor diperlukan suatu pemodelan matematis yaitu sebuah persamaan ayunan seperti dibawah ini

$$M\dot{\omega} = P_m - P_e(\delta) \quad (3.3.1)$$

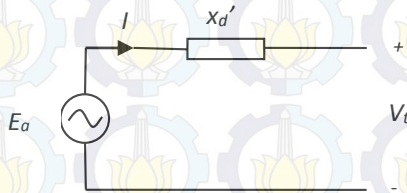
dimana :

$$\begin{aligned} \dot{\omega} &= \frac{d\omega}{dt} \\ M &= \text{Momen inersia} \end{aligned}$$



- $\omega$  = Kecepatan rotor generator  
 $P_m$  = Daya mekanis  
 $P_e$  = Daya listrik  
 $\delta$  = Deviasi sudut rotor generator

Untuk mendapatkan nilai  $P_m$ , kita dapat membuat pemodelan generator seperti gambar 3.3 dibawah ini:



**Gambar 3.3** Pemodelan Generator.

dari pemodelan generator diatas dapat ditulis dengan persamaan:

$$E_a = jx'_d \cdot I + V_t \quad (3.3.2)$$

dimana :

- $E_a$  = Tegangan jangkar generator  
 $X'_d$  = Reaktansi sinkron transien  
 $V_t$  = Tegangan terminal generator

$$I = \frac{S}{V} \quad (3.3.3)$$

$$S = P + jQ \quad (3.3.4)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (3.3.3) kedalam persamaan (3.3.2) maka didapatkan persamaan:

$$E_a = V_t + jx'_d \cdot \frac{S}{V} \quad (3.3.5)$$

Dengan demikian daya mekanis dari generator dapat dicari dengan persamaan:

$$P_m = E_a \cdot Y_{red\_pre} \cdot E_a \quad (3.3.6)$$

Untuk daya elektris ( $P_e$ ) dapat dicari dengan persamaan:

$$P_e = v \cdot (Y_{red\_post} \cdot v)^* \quad (3.3.7)$$

dimana  $v$  adalah tegangan bus setelah gangguan dan dapat dicari dari persamaan (3.3.8)

$$v = E_a^{j\theta} \quad (3.3.8)$$

dan  $\theta$  merupakan hasil iterasi yang inisial awalnya adalah  $\theta_{coi}$

$$\theta_{coi} = \delta_i - \delta_0 \quad (3.3.9)$$

dimana  $\delta_i$  merupakan sudut rotor generator, sedangkan  $\delta_0$  merupakan jumlah momen inersia dan sudut rotor generator kemudian dibagi dengan jumlah total momen inersia.

$$\delta_0 = \frac{1}{M_T} \sum_{i=1}^n M_i \delta_i \quad (3.3.10)$$

Dengan menggunakan persamaan (3.3.1) dari pemodelan sistem diatas maka akan diperlukan referensi yang berbeda-beda, oleh karena itu perlu ditransformasikan kedalam persamaan *center of angel (coa)* / *center of inertia (coi)* dimana:

$$P_{coi} = \sum_{i=1}^n P_{mi} - P_{ei} \quad (3.3.11)$$

Sehingga persamaan ayunan menjadi:

$$M_i \dot{\omega}_i = P_{mi} - P_{ei}(\theta) - \frac{M_i}{M_t} P_{coi} - D_i \omega_i \quad (3.3.12)$$

dimana:

$$\begin{aligned} P_{mi} &= \text{Daya mekanis} \\ P_{ei} &= \text{Daya elektris} \end{aligned}$$

$M_i$	= Momen inersia
$M_T$	= Total momen inersia
$\omega_i$	= Kecepatan rotor generator
$D_i$	= Koefisien peredam
$\theta$	= Deviasi sudut rotor generator

### 3.4 Metode *Runge-Kutta* Orde 4

Metode *Runge-Kutta* orde empat telah banyak digunakan dalam perhitungan persamaan diferensial pada analisa kestabilan transien, persamaan diferensial yang dimaksud disini adalah persamaan ayunan atau *swing equation*. Metode *Runge-Kutta* orde empat merupakan alternatif lain dari metode deret Taylor yang tidak membutuhkan perhitungan turunan. Metode ini berusaha mendapat derajat ketelitian yang lebih tinggi, dan sekaligus menghindarkan keperluan mencari turunan yang lebih tinggi dengan jalan mengevaluasi fungsi  $f(x,y)$  pada titik terpilih dalam setiap selang langkah.

Secara umum metode *Runge-Kutta* orde empat dengan step  $(n+1)$  memiliki persamaan :

$$x_{n+1} = x_n + \frac{1}{6}(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4) \quad (3.4.1)$$

Dimana :

$$k_1 = f(x_n, t_n) \Delta t \quad (3.4.2)$$

$$k_2 = f\left(x_n + \frac{k_1}{2}, t_n + \frac{\Delta t}{2}\right) \Delta t \quad (3.4.3)$$

$$k_3 = f\left(x_n + \frac{k_2}{2}, t_n + \frac{\Delta t}{2}\right) \Delta t \quad (3.4.4)$$

$$k_4 = f(x_n + k_3, t_n + \Delta t) \Delta t \quad (3.4.5)$$

Perubahan pada metode *Runge-Kutta* orde empat ini dilakukan pada perhitungan seluruh konstanta yang ada, konstanta perubahan dilakukan dengan memperhitungkan turunan pertama fungsi dan juga nilai turunan kedua fungsi, dilakukan juga metode *Runge-Kutta* orde empat terhadap turunan pertama dari fungsi.





## **BAB IV**

### **SIMULASI DAN ANALISIS DATA**

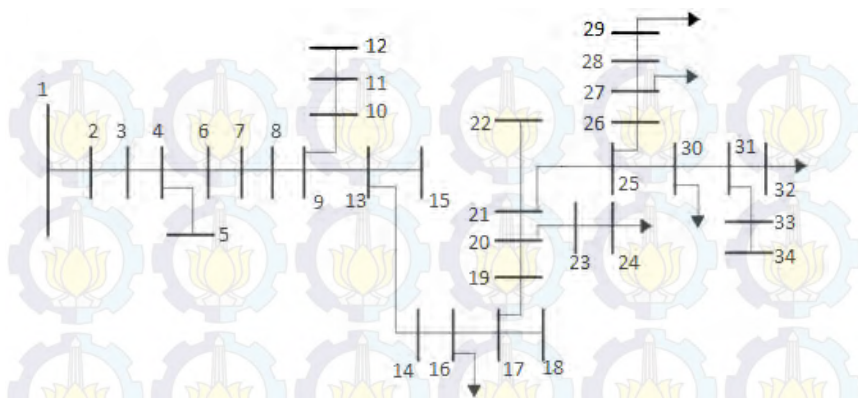
Pada bab keempat ini, akan dilakukan simulasi pada *plant*/sistem dengan multi mesin/multi generator. Simulasi akan dilakukan pada *plant* IEEE 34 Bus radial dengan penambahan pembangkitan terdistribusi. Dari simulasi ini akan didapatkan nilai CCT diantara waktu pemutusan stabil dan waktu pemutusan tidak stabilnya. Simulasi yang dilakukan dibatasi menggunakan beban statis.

Spesifikasi dari sebuah perangkat komputer yang digunakan dalam proses simulasi sangat berpengaruh pada kecepatan proses perhitungan simulasinya. Oleh karena itu berikut akan ditunjukkan spesifikasi dari komputer yang digunakan :

- |                             |  |
|-----------------------------|--|
| 1. <i>System Manufactur</i> | : Hewlett-Packard                                  |
| 2. <i>System Model</i>      | : Compaq Presario CQ41 Notebook PC                 |
| 3. <i>Rating</i>            | : 4,0  |
| 4. <i>Processor</i>         | : Intel(R) Core(TM) i3 CPU M 330 @ 2.13GHz 2.13GHz |
| 5. <i>Installed Memory</i>  | : 2,00 GB (1,87 GB usable)                         |
| 6. <i>Operating System</i>  | : Windows 7 Home Basic 32-bit                      |
| 7. <i>Product ID</i>        | : 00346-OEM-8992752-50008                          |

#### **4.1 Sistem IEEE 34 Bus**

Metode *Time Domain Simulation* yang digunakan pada tugas akhir ini akan diuji pada Sistem IEEE 34 Bus Radial yang menggunakan frekuensi 50Hz, dan tegangan *base* 20KV dengan penambahan 3 pembangkitan terdistribusi (DG) yang dipasangkan pada bus 8, 26 dan 28



**Gambar 4.1** Konfigurasi Sistem IEEE 34 Bus Radial

Spesifikasi data dari saluran sistem dan spesifikasi data dari bus sistem dilampirkan secara berturut-turut pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2.

**Tabel 4.1** Data Saluran Sistem

No Line	Dari Bus	Menuju Bus	R	X	Half Line Charging Susceptance
1	1	2	0,6532	0,6518	0
2	2	3	0,438	0,4371	0
3	3	4	8,1701	8,143	0
4	4	5	1,4695	1,4664	0
5	4	6	9,4943	9,4744	0
6	6	7	7,5271	7,5113	0
7	7	8	0,0037	0,0027	0
8	8	9	0,1133	0,0829	0
9	9	10	0,9067	0,4811	0

**Tabel 4.1** Lanjutan Tabel Data Saluran Sistem

No Line	Dari Bus	Menuju Bus	R	X	Half Line Charging Susceptance
10	10	11	25,524	13,544	0
11	11	12	7,2851	3,8657	0
12	9	13	3,7321	2,7294	0
13	13	14	0,307	0,2246	0
14	13	15	1,6062	0,8525	0
15	15	16	7,4714	5,5642	0
16	16	17	0,1901	0,139	0
17	17	18	12,368	6,5638	0
18	17	19	13,462	9,8548	0
19	19	20	0,0037	0,0027	0
20	20	21	1,7911	1,3099	0
21	21	22	0,8588	0,4558	0
22	20	23	0,053	0,026	0
23	23	24	2,6736	2,668	0
24	21	25	2,131	1,5585	0
25	25	26	0,1023	0,0749	0
26	26	27	0,4935	0,3609	0
27	27	28	1,3305	0,9731	0
28	28	29	0,1937	0,1417	0
29	25	30	0,7384	0,54	0
30	30	31	0,9796	0,7164	0
31	31	32	0,3144	0,2299	0
32	31	33	0,1023	0,0749	0
33	33	34	1,7688	1,3082	0

**Tabel 4.2** Data Bus IEEE 34 Bus

No. Bus	P Generator (MW)	Q Generator (MW)	P Load (MW)	Q load (MW)
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	0	0	0	0
7	0	0	0	0
8	0,029	0	0	0
9	0	0	0	0
10	0	0	0	0
11	0	0	0	0
12	0	0	0	0
13	0	0	0	0
14	0	0	0	0
15	0	0	0	0
16	0	0	0,01	0,005
17	0	0	0	0
18	0	0	0	0
19	0	0	0	0
20	0	0	0	0
21	0	0	0	0
22	0	0	0	0
23	0	0	0	0
24	0	0	0,15	0,075



**Tabel 4.2** Lanjutan Tabel Data Bus IEEE 34 Bus

No. Bus	P Generator (MW)	Q Generator (MW)	P Load (MW)	Q load (MW)
25	0	0	0	0
26	0,267	0	0	0
27	0	0	0,135	0,105
28	0,049	0	0	0
29	0	0	0,02	0,016
30	0	0	0,02	0,016
31	0	0	0	0
32	0	0	0,009	0,007
33	0	0	0	0
34	0	0	0	0

Dari Gambar 4.1 telah ditentukan letak gangguan-gangguan yang terjadi pada sistem, yaitu pada masing-masing titik pada saluran dengan kode A-H. Gangguan diasumsikan terjadi di 8 titik saluran tersebut :

- A : titik gangguan antara bus 9 dan bus 8
- B : titik gangguan antara bus 2 dan bus 1
- C : titik gangguan antara bus 26 dan bus 27
- D : titik gangguan antara bus 16 dan bus 17
- E : titik gangguan antara bus 21 dan bus 25
- F : titik gangguan antara bus 3 dan bus 4
- G : titik gangguan antara bus 20 dan bus 21
- H : titik gangguan antara bus 20 dan bus 23

#### 4.2 Perhitungan CCT pada sistem IEEE 34 Bus

Sistem yang digunakan dalam perhitungan CCT menggunakan sistem IEEE 34 Bus yang dapat dilihat pada gambar 4.1 dengan *damping* dan dengan adanya pembangkitan terdistribusi (DG). Titik

gangguan telah dipilih secara acak, pada simulasi ini dicoba pada 8 titik gangguan yang berbeda-beda. Berikut adalah hasil CCT yang didapat dari hasil simulasi dengan menggunakan metode *Time Domain Simulation*.

**Tabel 4.3** Hasil CCT Sistem IEEE 34 Bus

<b>SISTEM IEEE 34 BUS</b>			
<b>Titik Gangguan</b>	<b>Open Line</b>	<b>CCT</b>	<b>Waktu Simulasi</b>
A	9-8	0,239-0,240	27,7009
B	2-1	0,924-0,925	22,7222
C	26-27	0,367-0,368	26,3491
D	16-17	1,729-1,730	23,7335
E	21-25	0,583-0,584	28,9455
F	3-4	1,350-1,351	27,6611
G	20-21	0,940-0,941	30,2828
H	20-23	0,932-0,933	27,8603
<b>Rata-rata</b>			26,906925

Tabel 4.3 menunjukkan nilai CCT yang diperoleh dari metode *Time Domain Simulation*, metode *Time Domain Simulation* merupakan *undirect-method* sehingga dapat dilihat dari tabel 4.3 diatas nilai CCT bukan merupakan satu nilai CCT melainkan berupa range nilai. Range nilai tersebut merupakan waktu pemutusan stabil dan waktu pemutusan tidak stabilnya.

### 4.3 Analisa Grafik Karakteristik Sistem IEEE 34 bus dengan Adanya Penambahan Pembangkitan Terdistribusi

Dengan cara *trial* dan *error* maka didapatkan waktu stabil dan waktu tidak stabil sehingga CCT yang didapatkan berada pada *range* waktu stabil dan waktu tidak stabilnya. Grafik yang ditampilkan dibatasi grafik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) terhadap sudut rotor ( $\delta$ ), grafik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) terhadap waktu (*sec*), grafik sudut rotor ( $\delta$ )

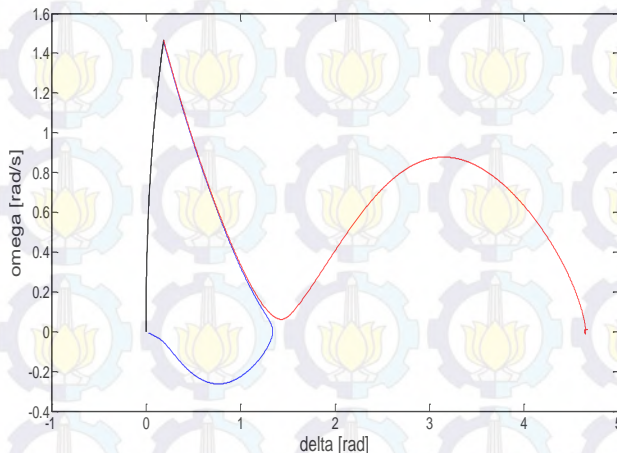
terhadap waktu (*sec*). Pada karakteristik grafik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) terhadap sudut rotor ( $\delta$ ) yang disajikan, terdapat dua warna kurva yang digunakan untuk *plotting*. Warna pada kedua kurva tersebut dapat dijelaskan:

- Merah : kurva pada kondisi tidak stabil dari hasil simulasi
- Biru : kurva pada kondisi stabil dari hasil simulasi
- 

Maka hasil simulasi dengan menggunakan metode *Time Domain Simulation* pada setiap titik gangguan yang berbeda pada sistem adalah sebagai berikut :

#### a. Titik Gangguan A

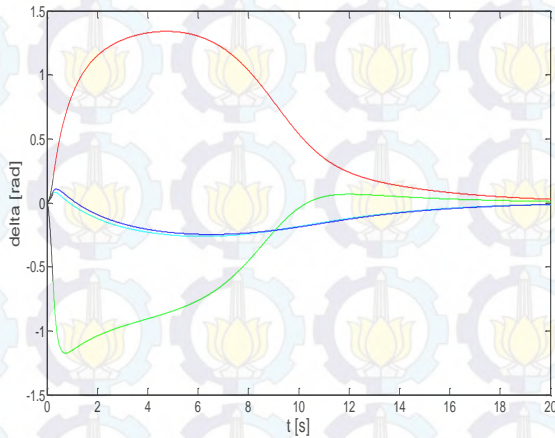
Nilai CCT yang diperoleh dari metode TDS adalah *range* antara (0,239 – 0,240) *sec*.



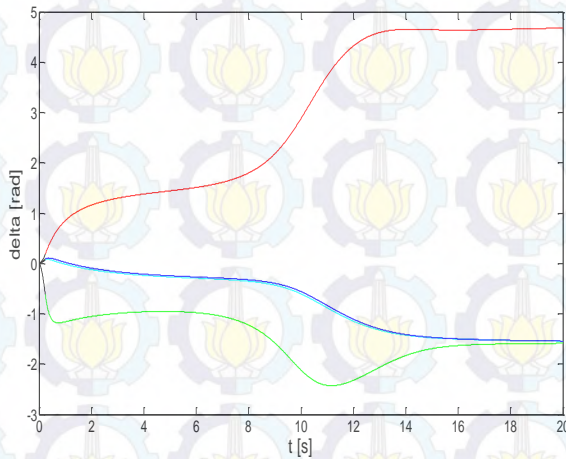
**Gambar 4.2** Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) dalam *rad/s* terhadap sudut rotor ( $\delta$ ) dalam *rad* pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat mengalami gangguan di titik A

Dapat dilihat dari gambar 4.2 diatas bahwa saat gangguan diputus pada waktu 0,239 S atau waktu stabilnya maka generator akan stabil dan kembali ke keadaan semula yang ditunjukkan dengan kurva berwarna biru. Sedangkan saat gangguan diputus pada waktu 0,240 S

atau waktu tidak stabilnya maka generator akan kehilangan sinkronisasinya yang ditunjukkan dengan kurva berwarna merah.

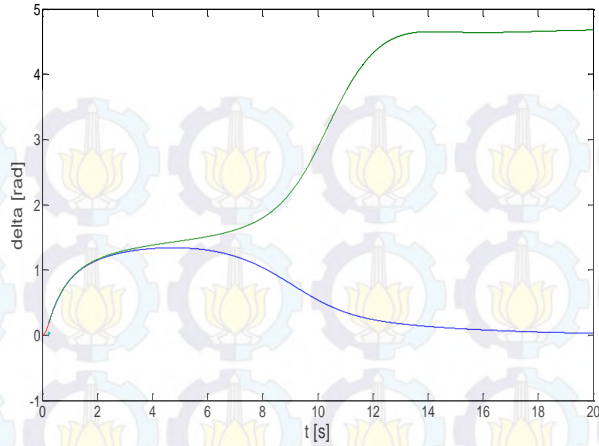


**Gambar 4.3.** Grafik karakteristik sudut rotor ( $\delta$ ) stabil dalam *rad* terhadap waktu (*s*) pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat gangguan terjadi di titik A

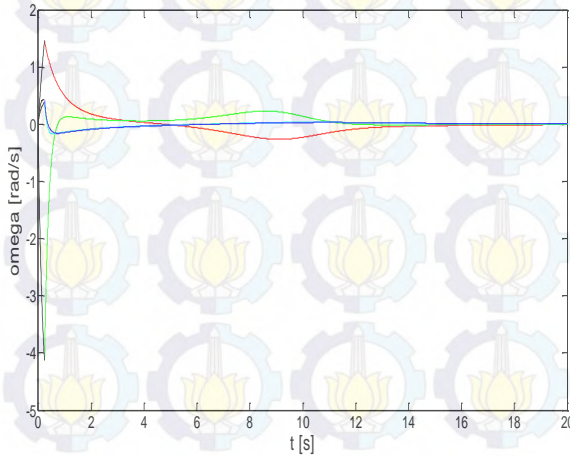


**Gambar 4.4.** Grafik karakteristik sudut rotor ( $\delta$ ) tidak stabil dalam *rad* terhadap waktu (*s*) pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat gangguan terjadi di titik A

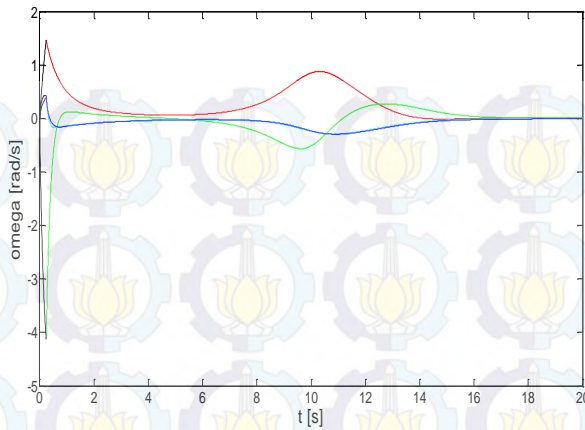




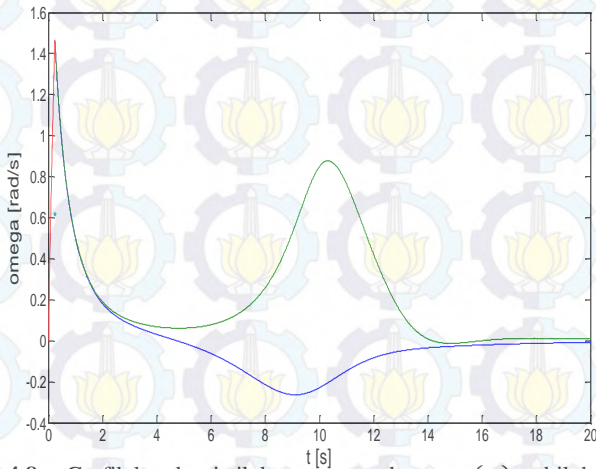
**Gambar 4.5.** Grafik karakteristik sudut rotor ( $\delta$ ) stabil dan tidak stabil dalam rad terhadap waktu (s) pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat gangguan terjadi di titik A



**Gambar 4.6.** Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) stabil dalam rad/s terhadap waktu (s) pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat gangguan terjadi di titik A



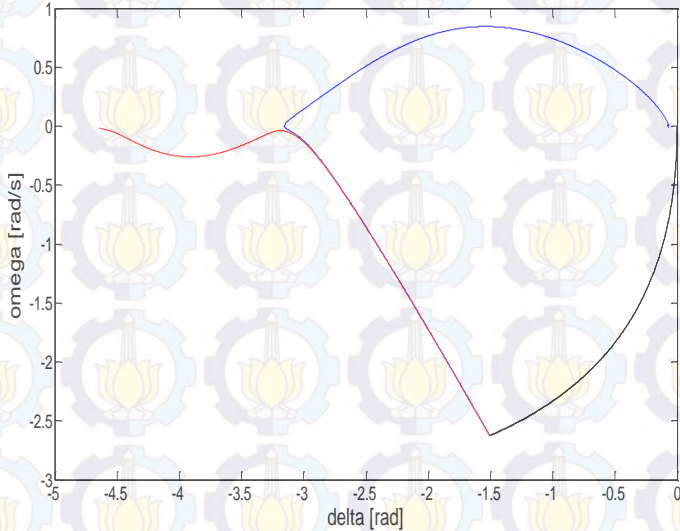
**Gambar 4.7.** Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) tidak stabil dalam  $rad/s$  terhadap waktu ( $s$ ) pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat gangguan terjadi di titik A



**Gambar 4.8.** Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) stabil dan tidak stabil dalam  $rad/s$  terhadap waktu ( $s$ ) pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat gangguan terjadi di titik A

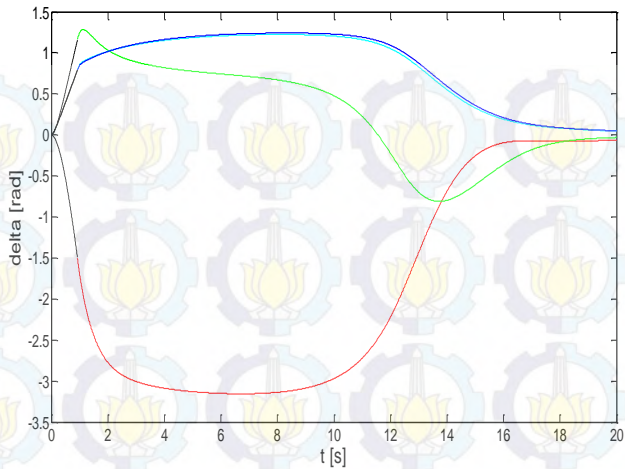
### b. Titik Gangguan B

Nilai CCT yang diperoleh dari metode TDS adalah *range* antara  $(0.924 - 0.925)$  sec.

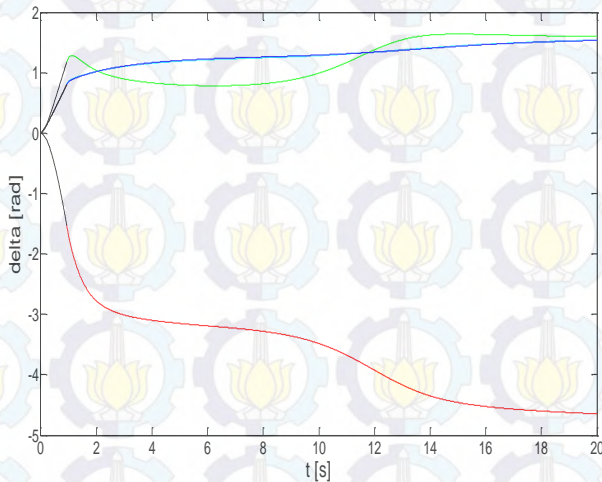


**Gambar 4.9** Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) dalam *rad/s* terhadap sudut rotor ( $\delta$ ) dalam *rad* pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat mengalami gangguan di titik B

Dapat dilihat dari gambar 4.5 diatas bahwa saat gangguan diputus pada waktu 0,924 S atau waktu stabilnya maka generator akan stabil dan kembali ke keadaan semula yang ditunjukkan dengan kurva berwarna biru. Sedangkan saat gangguan diputus pada waktu 0,925 S atau waktu tidak stabilnya maka generator akan kehilangan sinkronisasinya yang ditunjukkan dengan kurva berwarna merah.

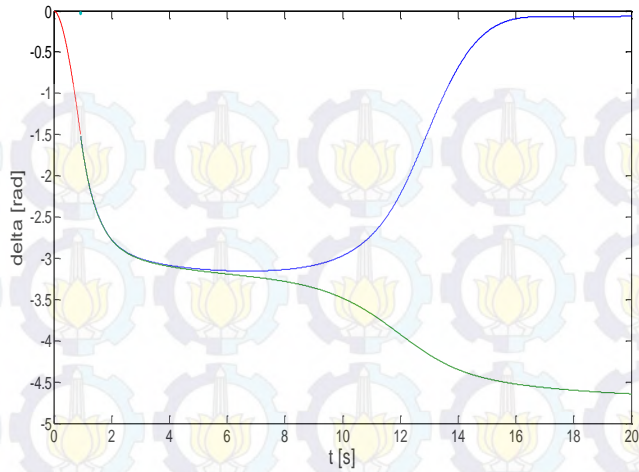


**Gambar 4.10** Grafik karakteristik sudut rotor ( $\delta$ ) stabil dalam *rad* terhadap waktu (*s*) pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat gangguan terjadi di titik B

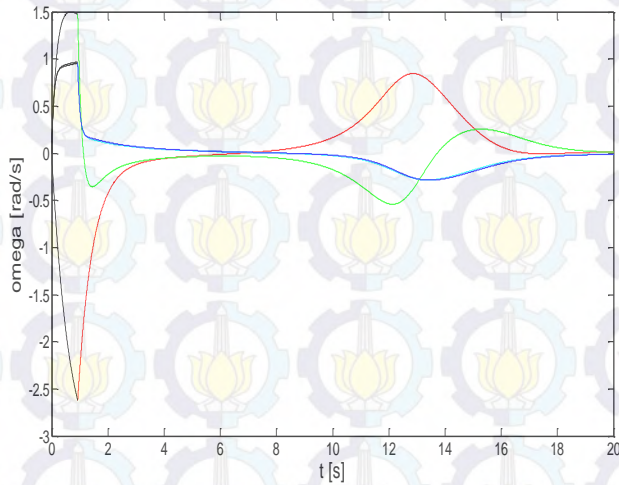


**Gambar 4.11** Grafik karakteristik sudut rotor ( $\delta$ ) tidak stabil dalam *rad* terhadap waktu (*s*) pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat gangguan terjadi di titik B

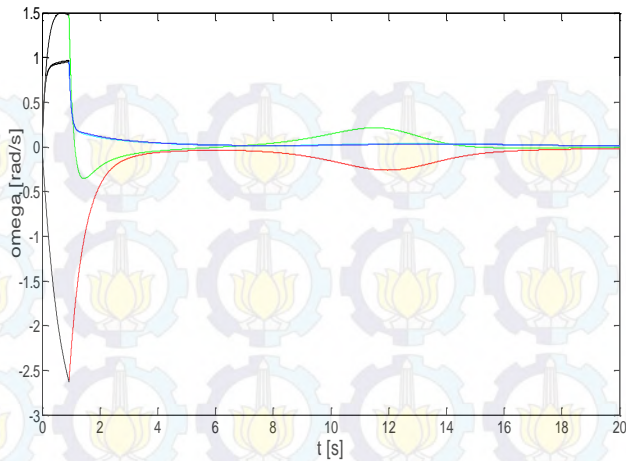




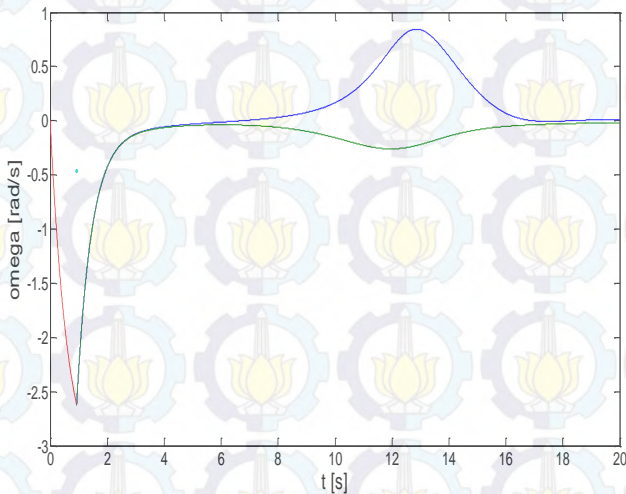
**Gambar 4.12** Grafik karakteristik sudut rotor ( $\delta$ ) stabil dan tidak stabil dalam rad terhadap waktu (s) pada sistem IEEE 34 bus dengan damping saat gangguan terjadi di titik B



**Gambar 4.13** Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) stabil dalam rad/s terhadap waktu (s) pada sistem IEEE 34 bus dengan damping saat gangguan terjadi di titik B



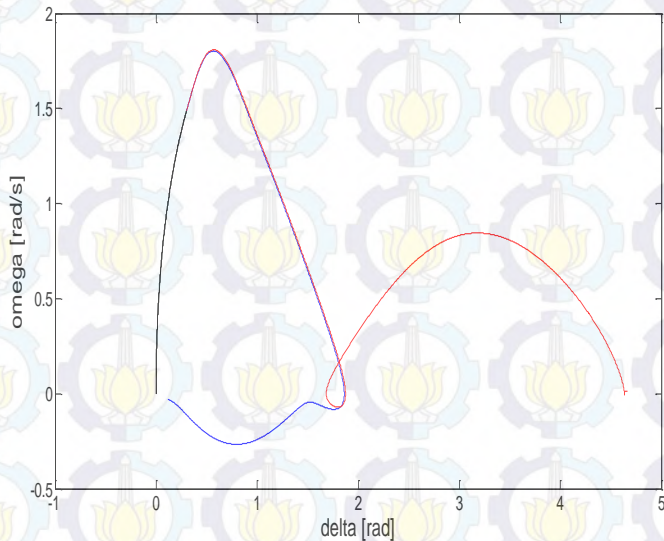
**Gambar 4.14** Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) tidak stabil dalam  $rad/s$  terhadap waktu ( $s$ ) pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat gangguan terjadi di titik B



**Gambar 4.15** Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) stabil dan tidak stabil dalam  $rad/s$  terhadap waktu ( $s$ ) pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat gangguan terjadi di titik B

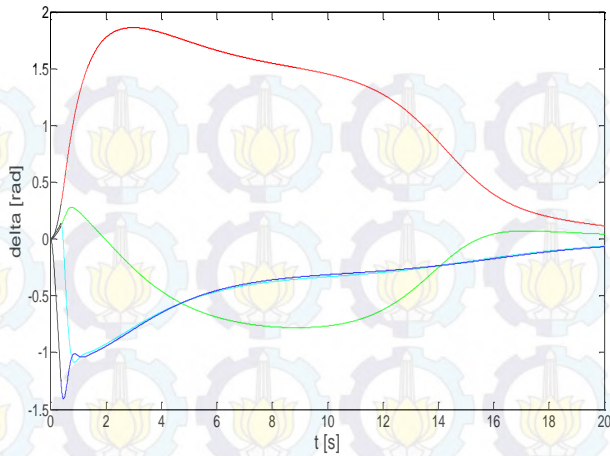
### c. Titik Gangguan C

Nilai CCT yang diperoleh dari metode TDS adalah *range* antara (0,367 – 0,368) *sec*.

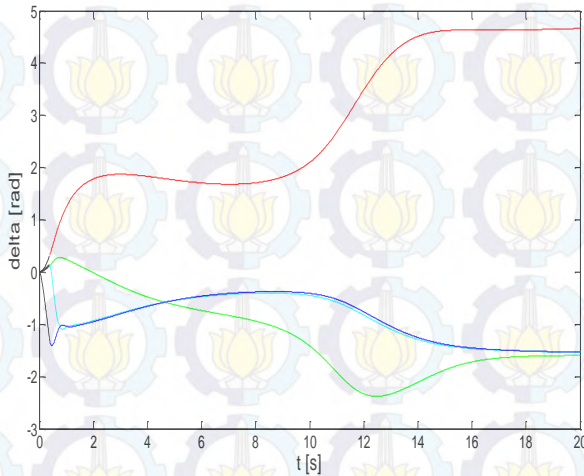


**Gambar 4.16** Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) dalam *rad/s* terhadap sudut rotor ( $\delta$ ) dalam *rad* pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat mengalami gangguan di titik C

Dapat dilihat dari gambar 4.8 diatas bahwa saat gangguan diputus pada waktu 0,367 S atau waktu stabilnya maka generator akan stabil dan kembali ke keadaan semula yang ditunjukkan dengan kurva berwarna biru. Sedangkan saat gangguan diputus pada waktu 0,368 S atau waktu tidak stabilnya maka generator akan kehilangan sinkronisasinya yang ditunjukkan dengan kurva berwarna merah.

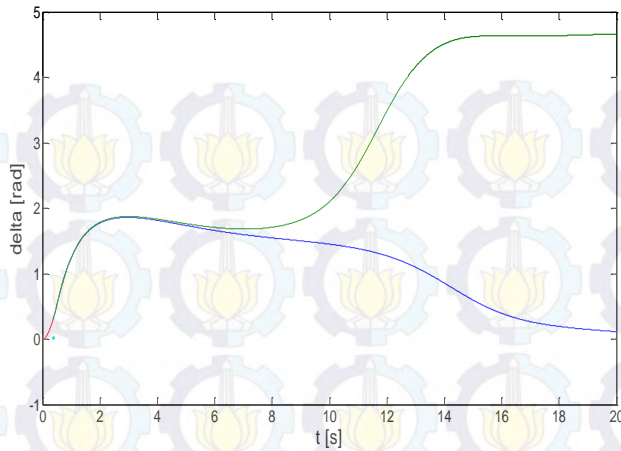


**Gambar 4.17** Grafik karakteristik sudut rotor ( $\delta$ ) stabil dalam *rad* terhadap waktu (*s*) pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat gangguan terjadi di titik C

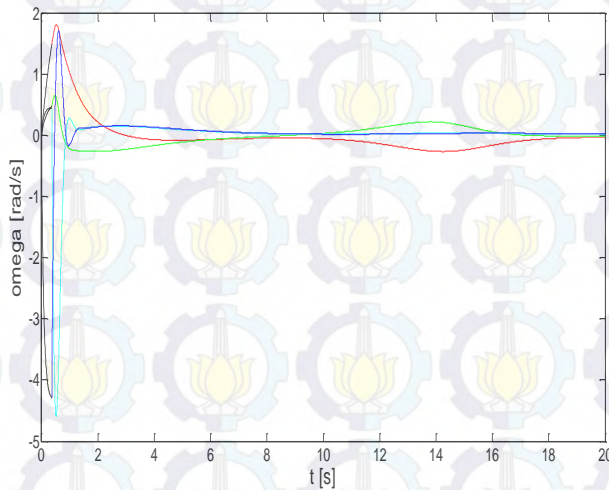


**Gambar 4.18** Grafik karakteristik sudut rotor ( $\delta$ ) tidak stabil dalam *rad* terhadap waktu (*s*) pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat gangguan terjadi di titik C

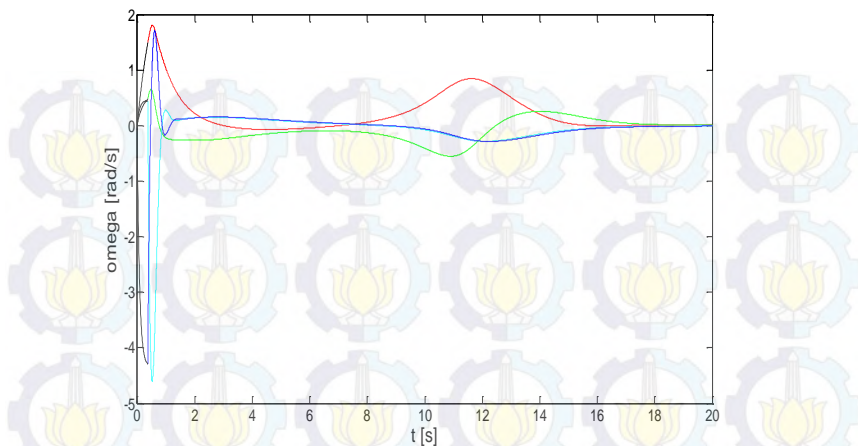




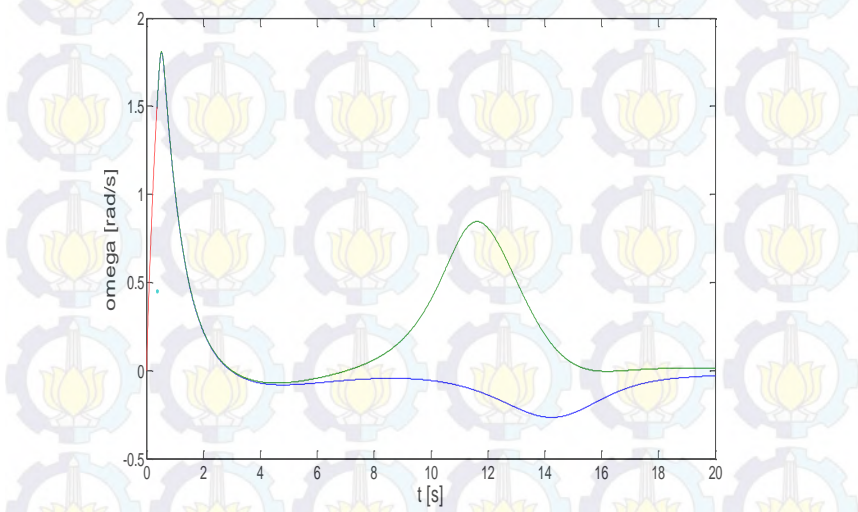
**Gambar 4.19** Grafik karakteristik sudut rotor ( $\delta$ ) stabil dan tidak stabil dalam rad terhadap waktu (s) pada sistem IEEE 34 bus dengan damping saat gangguan terjadi di titik C



**Gambar 4.20** Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) stabil dalam rad/s terhadap waktu (s) pada sistem IEEE 34 bus dengan damping saat gangguan terjadi di titik C



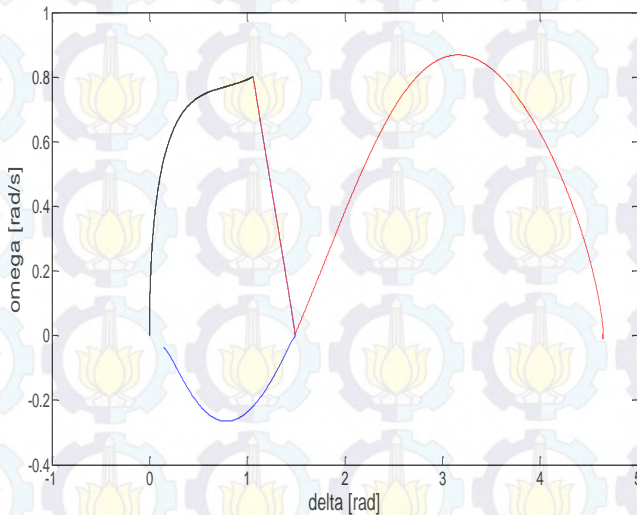
**Gambar 4.21** Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) tidak stabil dalam  $rad/s$  terhadap waktu ( $s$ ) pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat gangguan terjadi di titik C



**Gambar 4.22** Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) stabil dan tidak stabil dalam  $rad/s$  terhadap waktu ( $s$ ) pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat gangguan terjadi di titik C

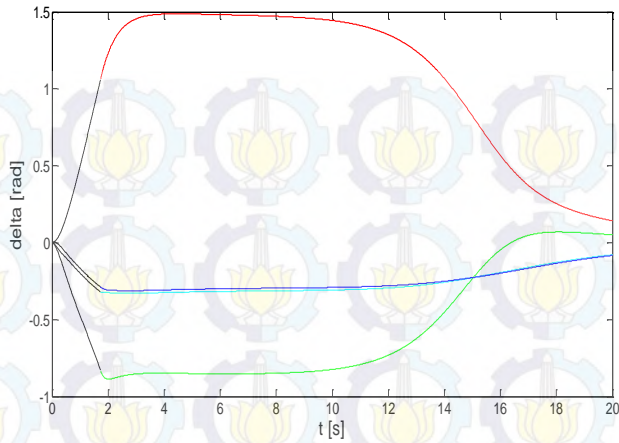
#### d. Titik Gangguan D

Nilai CCT yang diperoleh dari metode TDS adalah *range* antara (1,729 – 1,730) *sec*.

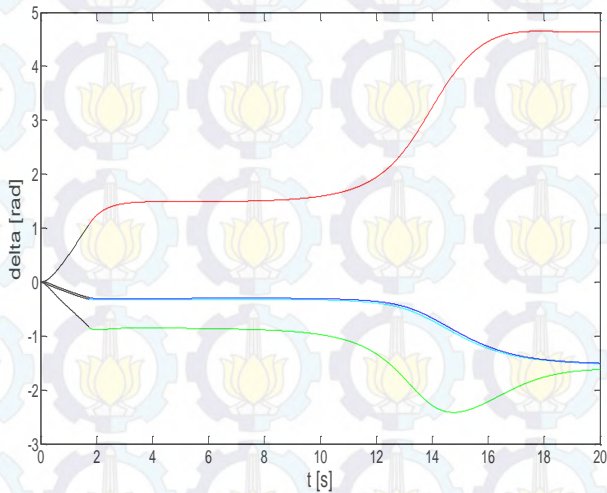


**Gambar 4.23** Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) dalam *rad/s* terhadap sudut rotor ( $\delta$ ) dalam *rad* pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat mengalami gangguan di titik D

Dapat dilihat dari gambar 4.11 diatas bahwa saat gangguan diputus pada waktu 1,729 S atau waktu stabilnya maka generator akan stabil dan kembali ke keadaan semula yang ditunjukkan dengan kurva berwarna biru. Sedangkan saat gangguan diputus pada waktu 1,730 S atau waktu tidak stabilnya maka generator akan kehilangan sinkronisasinya yang ditunjukkan dengan kurva berwarna merah.

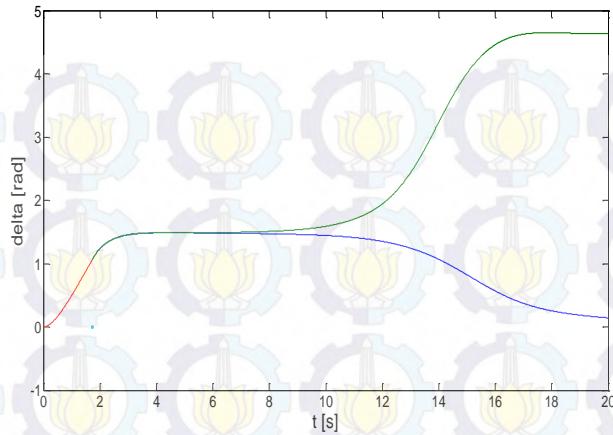


**Gambar 4.24** Grafik karakteristik sudut rotor ( $\delta$ ) stabil dalam *rad* terhadap waktu (*s*) pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat gangguan terjadi di titik D

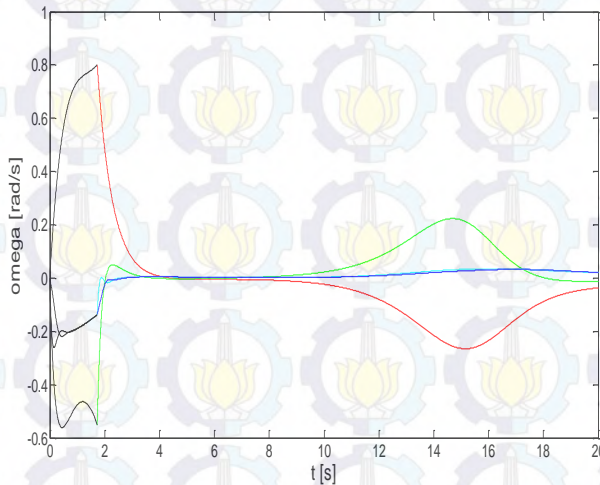


**Gambar 4.25** Grafik karakteristik sudut rotor ( $\delta$ ) tidak stabil dalam *rad* terhadap waktu (*s*) pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat gangguan terjadi di titik D

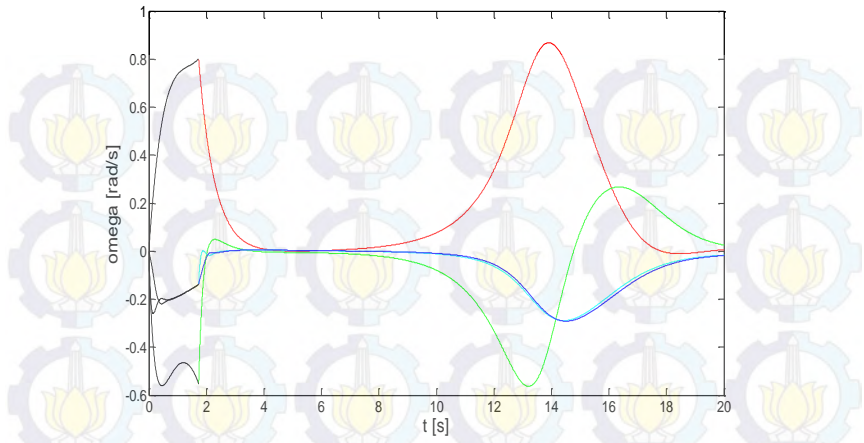




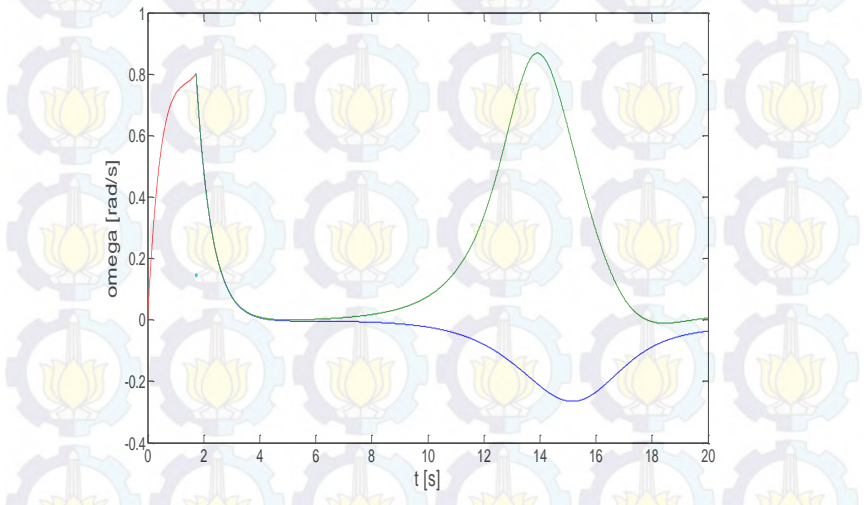
**Gambar 4.26** Grafik karakteristik sudut rotor ( $\delta$ ) stabil dan tidak stabil dalam rad terhadap waktu (s) pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat gangguan terjadi di titik D



**Gambar 4.27** Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) stabil dalam rad/s terhadap waktu (s) pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat gangguan terjadi di titik D



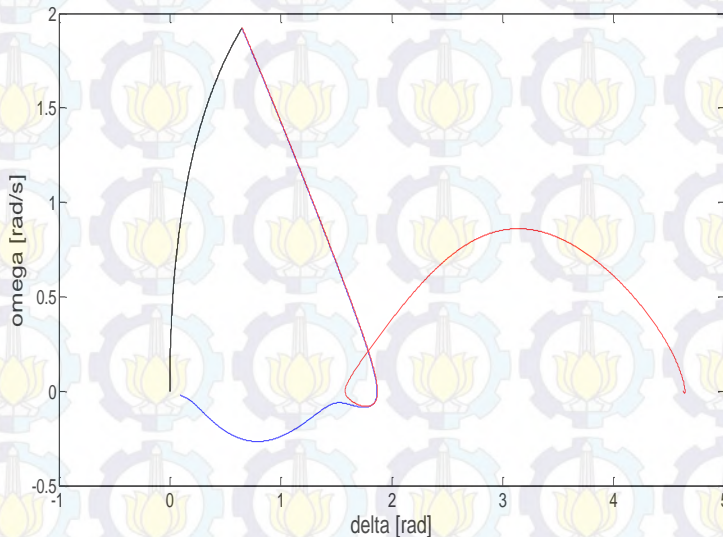
**Gambar 4.28** Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) tidak stabil dalam  $rad/s$  terhadap waktu ( $s$ ) pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat gangguan terjadi di titik D



**Gambar 4.29** Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) stabil dan tidak stabil dalam  $rad/s$  terhadap waktu ( $s$ ) pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat gangguan terjadi di titik D

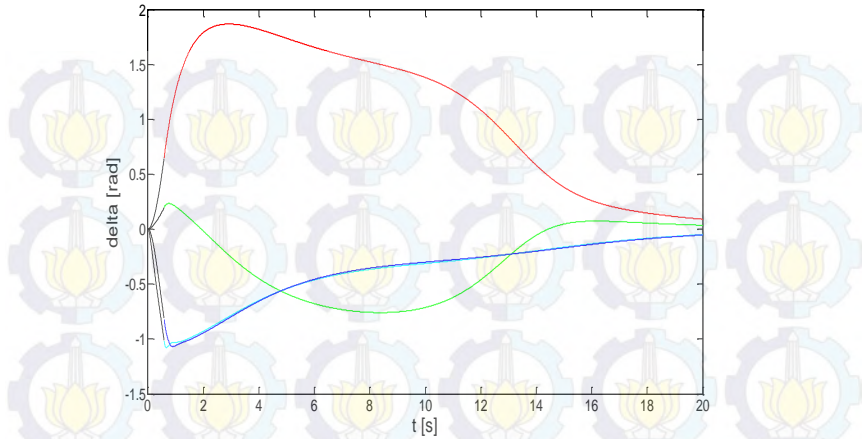
### e. Titik Gangguan E

Nilai CCT yang diperoleh dari metode TDS adalah *range* antara (0,583 – 0,584) *sec*.

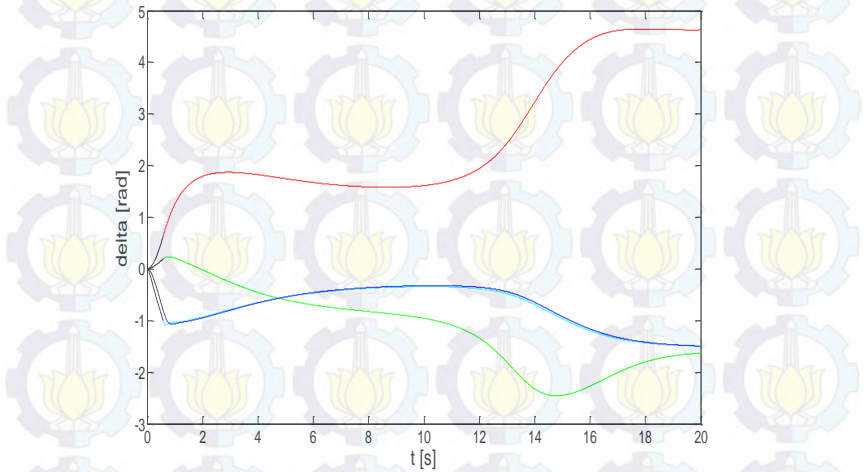


**Gambar 4.30** Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) dalam *rad/s* terhadap sudut rotor ( $\delta$ ) dalam *rad* pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat mengalami gangguan di titik E

Dapat dilihat dari gambar 4.14 diatas bahwa saat gangguan diputus pada waktu 0,583 S atau waktu stabilnya maka generator akan stabil dan kembali ke keadaan semula yang ditunjukkan dengan kurva berwarna biru. Sedangkan saat gangguan diputus pada waktu 0,584 S atau waktu tidak stabilnya maka generator akan kehilangan sinkronisasinya yang ditunjukkan dengan kurva berwarna merah.

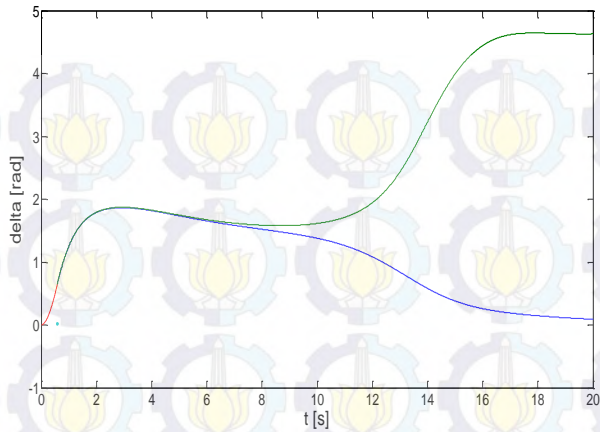


**Gambar 4.31** Grafik karakteristik sudut rotor ( $\delta$ ) stabil dalam *rad* terhadap waktu (*s*) pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat gangguan terjadi di titik E

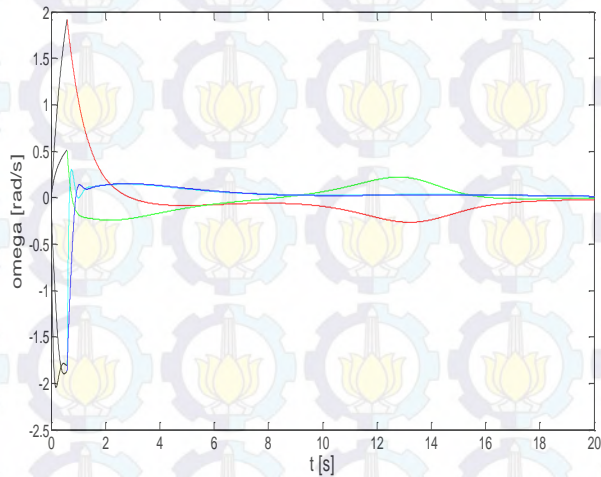


**Gambar 4.32** Grafik karakteristik sudut rotor ( $\delta$ ) tidak stabil dalam *rad* terhadap waktu (*s*) pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat gangguan terjadi di titik E

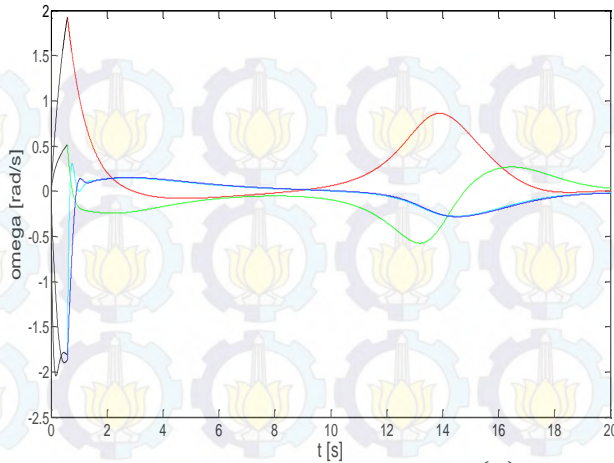




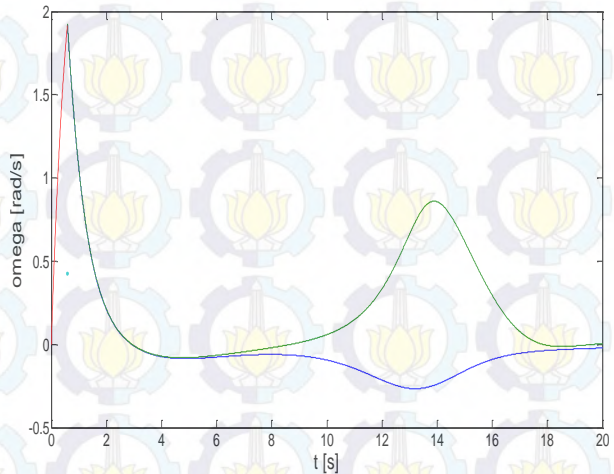
**Gambar 4.33** Grafik karakteristik sudut rotor ( $\delta$ ) stabil dan tidak stabil dalam rad terhadap waktu (s) pada sistem IEEE 34 bus dengan damping saat gangguan terjadi di titik E



**Gambar 4.34** Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) stabil dalam rad/s terhadap waktu (s) pada sistem IEEE 34 bus dengan damping saat gangguan terjadi di titik E



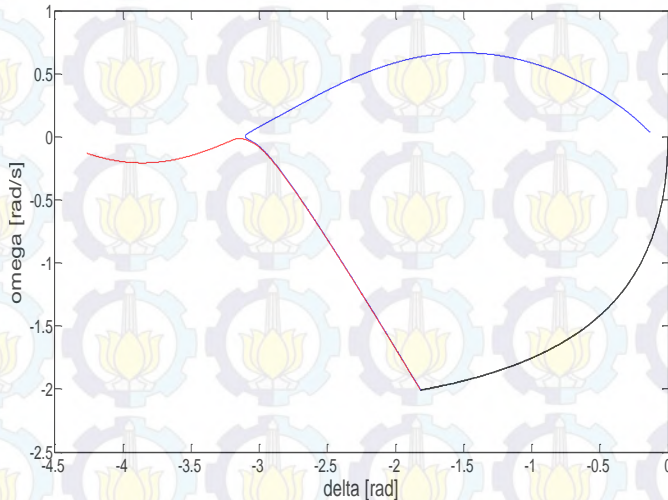
**Gambar 4.35** Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) tidak stabil dalam  $rad/s$  terhadap waktu ( $s$ ) pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat gangguan terjadi di titik E



**Gambar 4.36** Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) stabil dan tidak stabil dalam  $rad/s$  terhadap waktu ( $s$ ) pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat gangguan terjadi di titik E

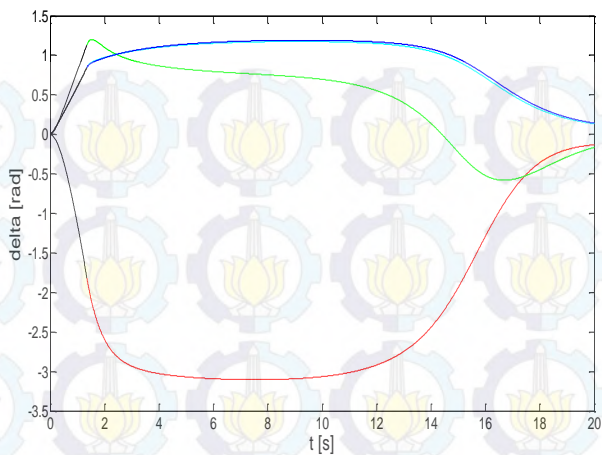
#### f. Titik Gangguan F

Nilai CCT yang diperoleh dari metode TDS adalah *range* antara (1,350 – 1,351) *sec*.

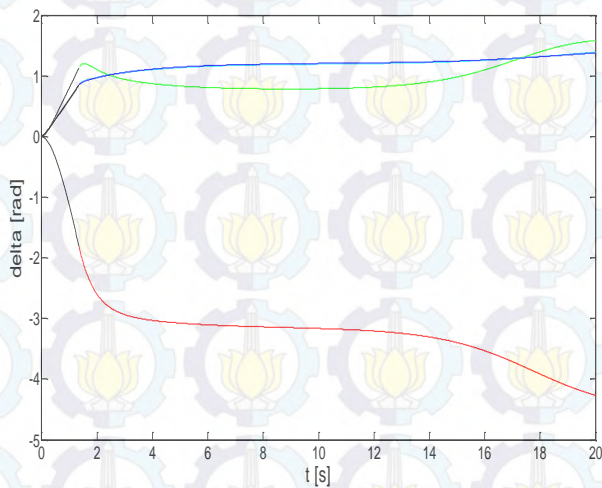


**Gambar 4.37** Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) dalam *rad/s* terhadap sudut rotor ( $\delta$ ) dalam *rad* pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat mengalami gangguan di titik F

Dapat dilihat dari gambar 4.17 diatas bahwa saat gangguan diputus pada waktu 1,350 S atau waktu stabilnya maka generator akan stabil dan kembali ke keadaan semula yang ditunjukkan dengan kurva berwarna biru. Sedangkan saat gangguan diputus pada waktu 1,351 S atau waktu tidak stabilnya maka generator akan kehilangan sinkronisasinya yang ditunjukkan dengan kurva berwarna merah.

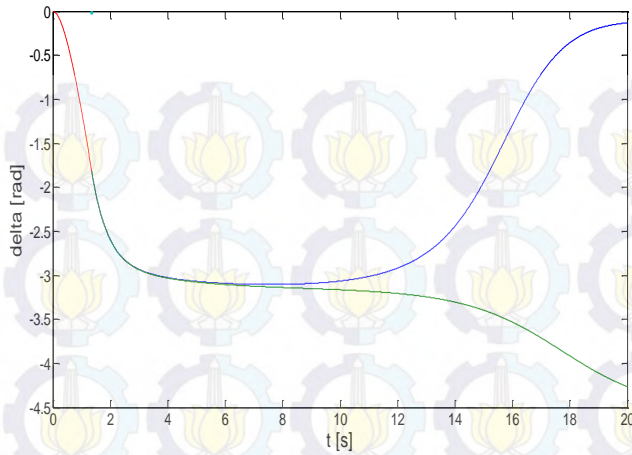


**Gambar 4.38** Grafik karakteristik sudut rotor ( $\delta$ ) stabil dalam *rad* terhadap waktu (*s*) pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat gangguan terjadi di titik F

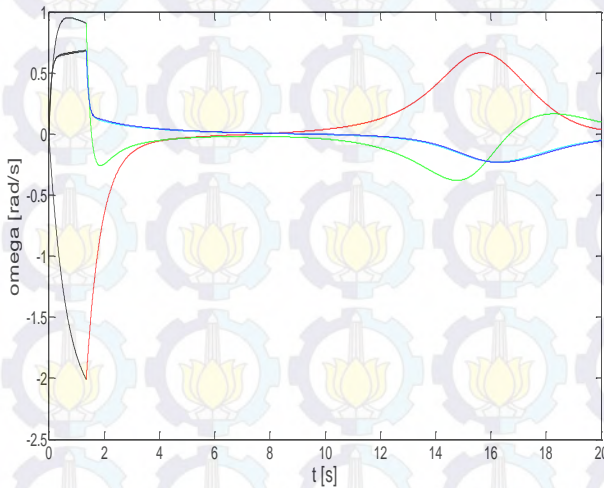


**Gambar 4.39** Grafik karakteristik sudut rotor ( $\delta$ ) tidak stabil dalam *rad* terhadap waktu (*s*) pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat gangguan terjadi di titik F

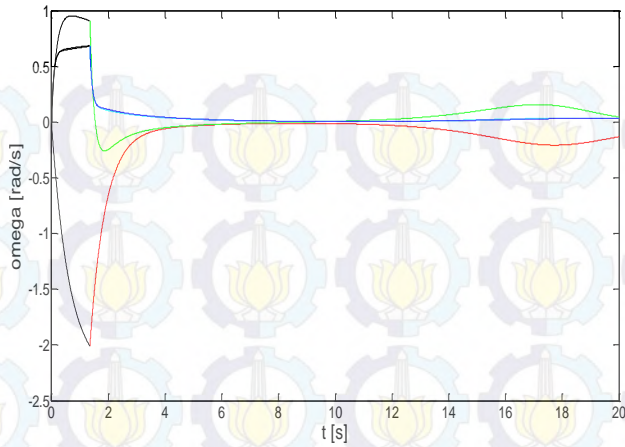




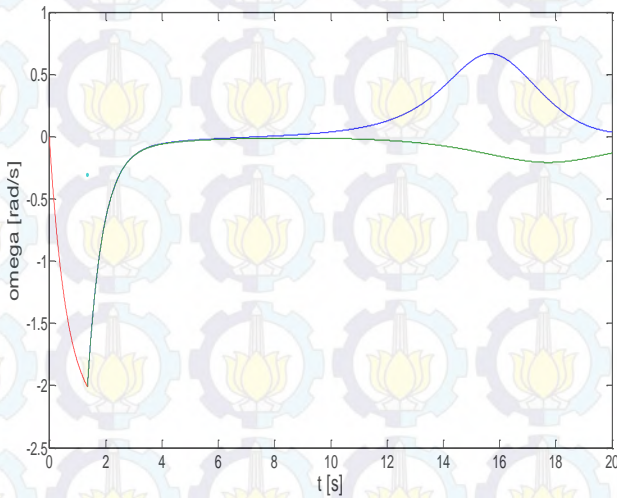
**Gambar 4.40** Grafik karakteristik sudut rotor ( $\delta$ ) stabil dan tidak stabil dalam rad terhadap waktu (s) pada sistem IEEE 34 bus dengan damping saat gangguan terjadi di titik F



**Gambar 4.41** Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) stabil dalam rad/s terhadap waktu (s) pada sistem IEEE 34 bus dengan damping saat gangguan terjadi di titik F



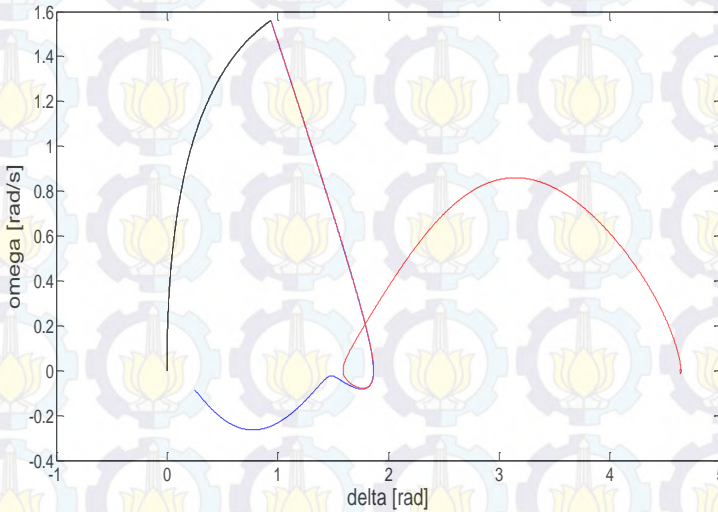
**Gambar 4.42** Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) tidak stabil dalam  $rad/s$  terhadap waktu ( $s$ ) pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat gangguan terjadi di titik F



**Gambar 4.43** Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) stabil dan tidak stabil dalam  $rad/s$  terhadap waktu ( $s$ ) pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat gangguan terjadi di titik F

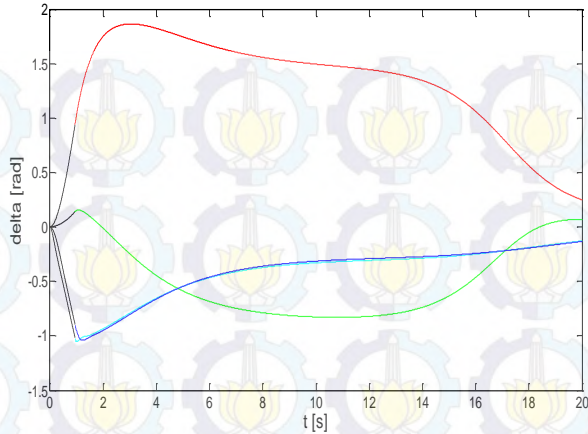
### g. Titik Gangguan G

Nilai CCT yang diperoleh dari metode TDS adalah *range* antara (0,940 – 0,941) *sec*.

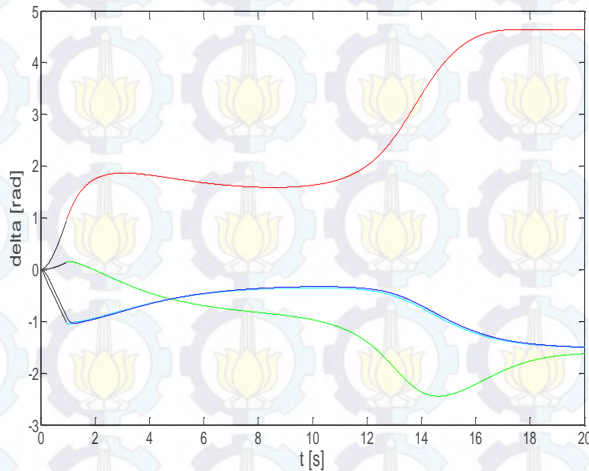


**Gambar 4.44** Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) dalam *rad/s* terhadap sudut rotor ( $\delta$ ) dalam *rad* pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat mengalami gangguan di titik G

Dapat dilihat dari gambar 4.20 diatas bahwa saat gangguan diputus pada waktu 0,940 S atau waktu stabilnya maka generator akan stabil dan kembali ke keadaan semula yang ditunjukkan dengan kurva berwarna biru. Sedangkan saat gangguan diputus pada waktu 0,941 S atau waktu tidak stabilnya maka generator akan kehilangan sinkronisasinya yang ditunjukkan dengan kurva berwarna merah.

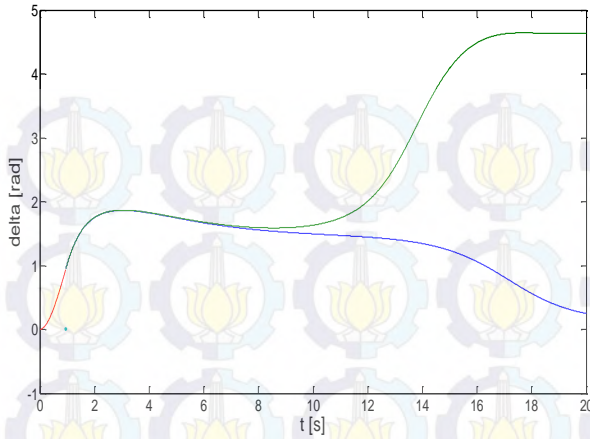


**Gambar 4.45** Grafik karakteristik sudut rotor ( $\delta$ ) stabil dalam *rad* terhadap waktu (*s*) pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat gangguan terjadi di titik G

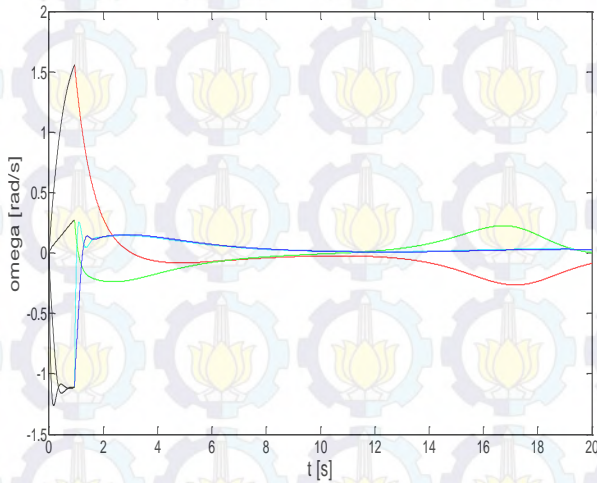


**Gambar 4.46** Grafik karakteristik sudut rotor ( $\delta$ ) tidak stabil dalam *rad* terhadap waktu (*s*) pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat gangguan terjadi di titik G

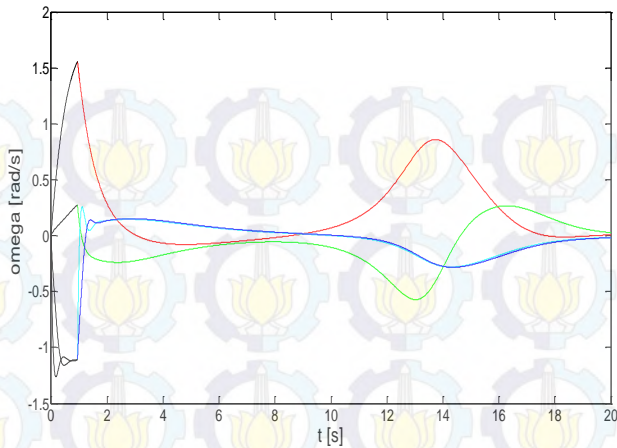




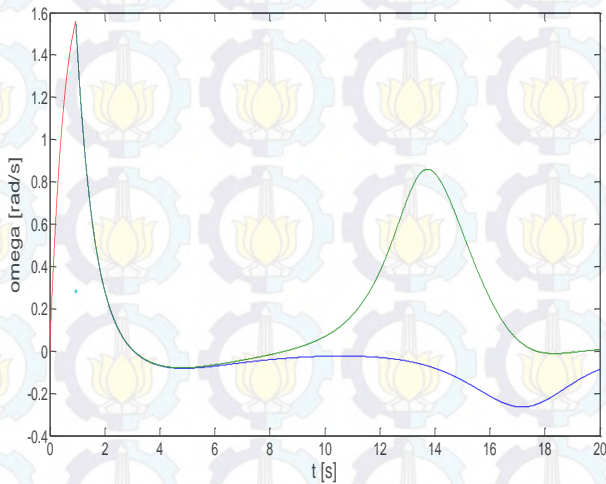
**Gambar 4.47** Grafik karakteristik sudut rotor ( $\delta$ ) stabil dan tidak stabil dalam rad terhadap waktu (s) pada sistem IEEE 34 bus dengan damping saat gangguan terjadi di titik G



**Gambar 4.48** Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) stabil dalam rad/s terhadap waktu (s) pada sistem IEEE 34 bus dengan damping saat gangguan terjadi di titik G



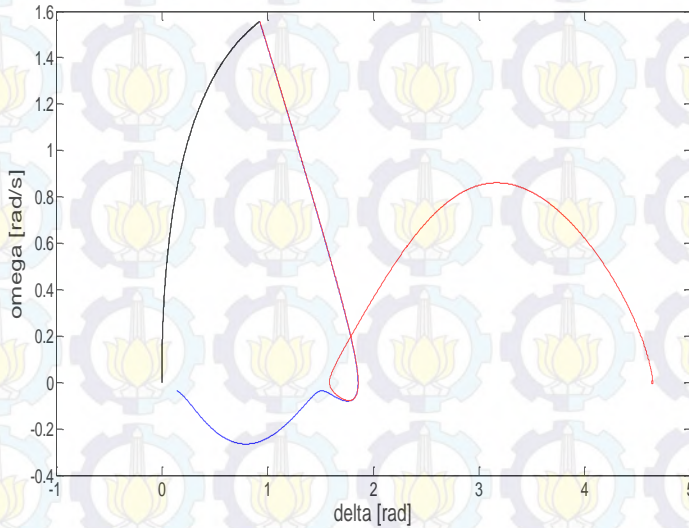
**Gambar 4.49** Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) tidak stabil dalam  $rad/s$  terhadap waktu ( $s$ ) pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat gangguan terjadi di titik G



**Gambar 4.50** Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) stabil dan tidak stabil dalam  $rad/s$  terhadap waktu ( $s$ ) pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat gangguan terjadi di titik G

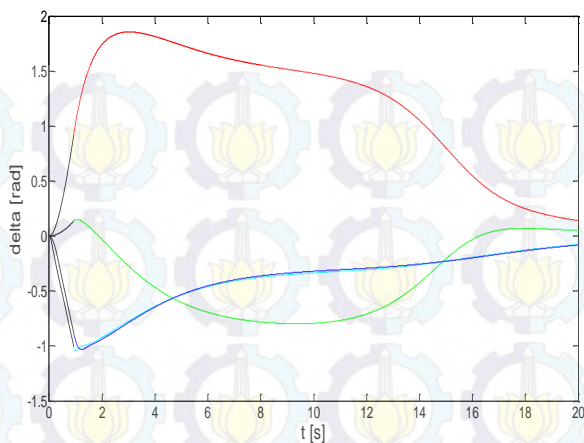
### h. Titik Gangguan H

Nilai CCT yang diperoleh dari metode TDS adalah *range* antara (0,932 – 0,933) *sec*.

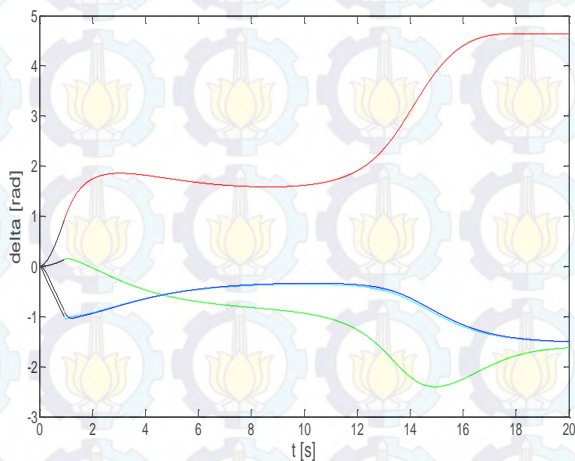


**Gambar 4.51** Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) dalam *rad/s* terhadap sudut rotor ( $\delta$ ) dalam *rad* pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat mengalami gangguan di titik H

Dapat dilihat dari gambar 4.23 diatas bahwa saat gangguan diputus pada waktu 0,932 S atau waktu stabilnya maka generator akan stabil dan kembali ke keadaan semula yang ditunjukkan dengan kurva berwarna biru. Sedangkan saat gangguan diputus pada waktu 0,933 S atau waktu tidak stabilnya maka generator akan kehilangan sinkronisasinya yang ditunjukkan dengan kurva berwarna merah.

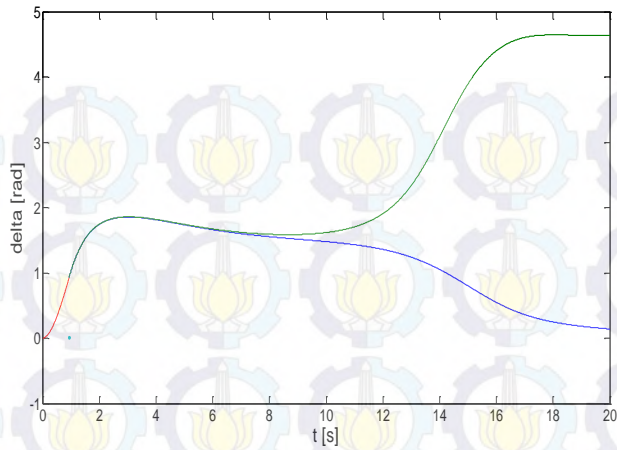


**Gambar 4.52** Grafik karakteristik sudut rotor ( $\delta$ ) stabil dalam *rad* terhadap waktu (*s*) pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat gangguan terjadi di titik H

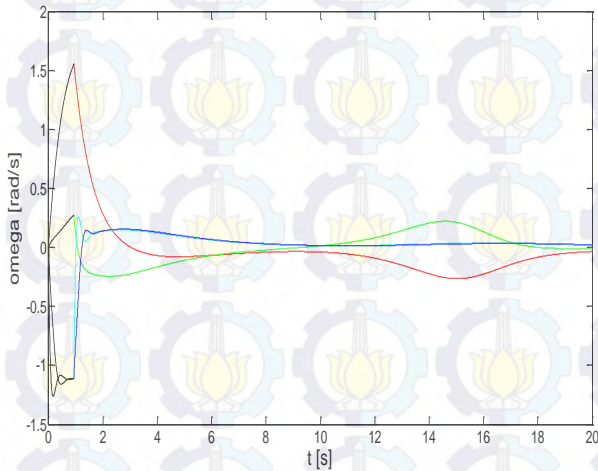


**Gambar 4.53** Grafik karakteristik sudut rotor ( $\delta$ ) tidak stabil dalam *rad* terhadap waktu (*s*) pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat gangguan terjadi di titik H

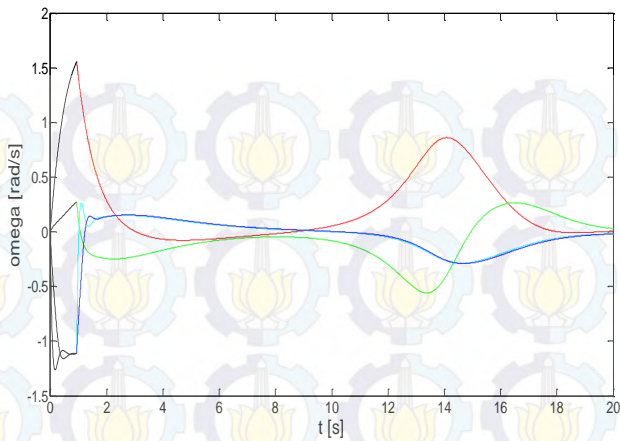




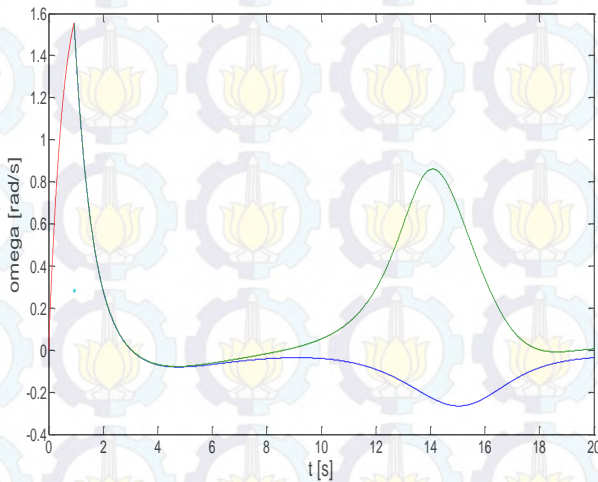
**Gambar 4.54** Grafik karakteristik sudut rotor ( $\delta$ ) stabil dan tidak stabil dalam rad terhadap waktu (s) pada sistem IEEE 34 bus dengan damping saat gangguan terjadi di titik H



**Gambar 4.55** Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) stabil dalam rad/s terhadap waktu (s) pada sistem IEEE 34 bus dengan damping saat gangguan terjadi di titik H

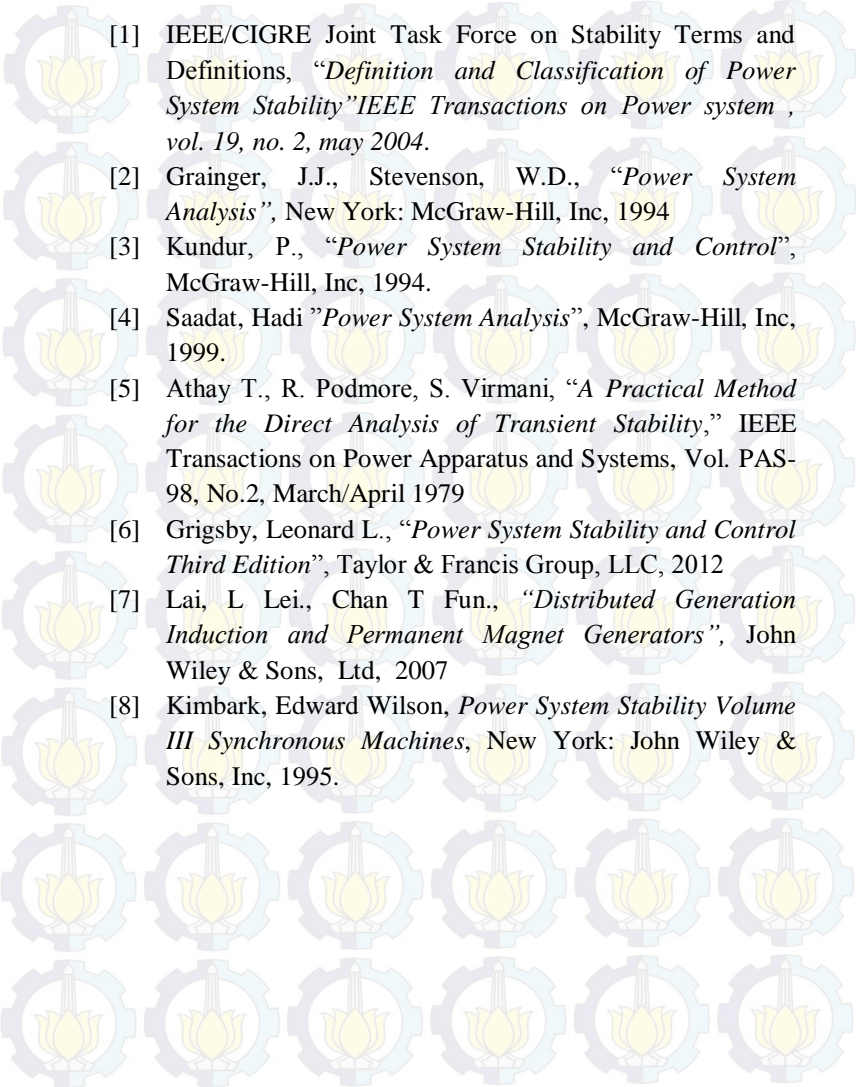


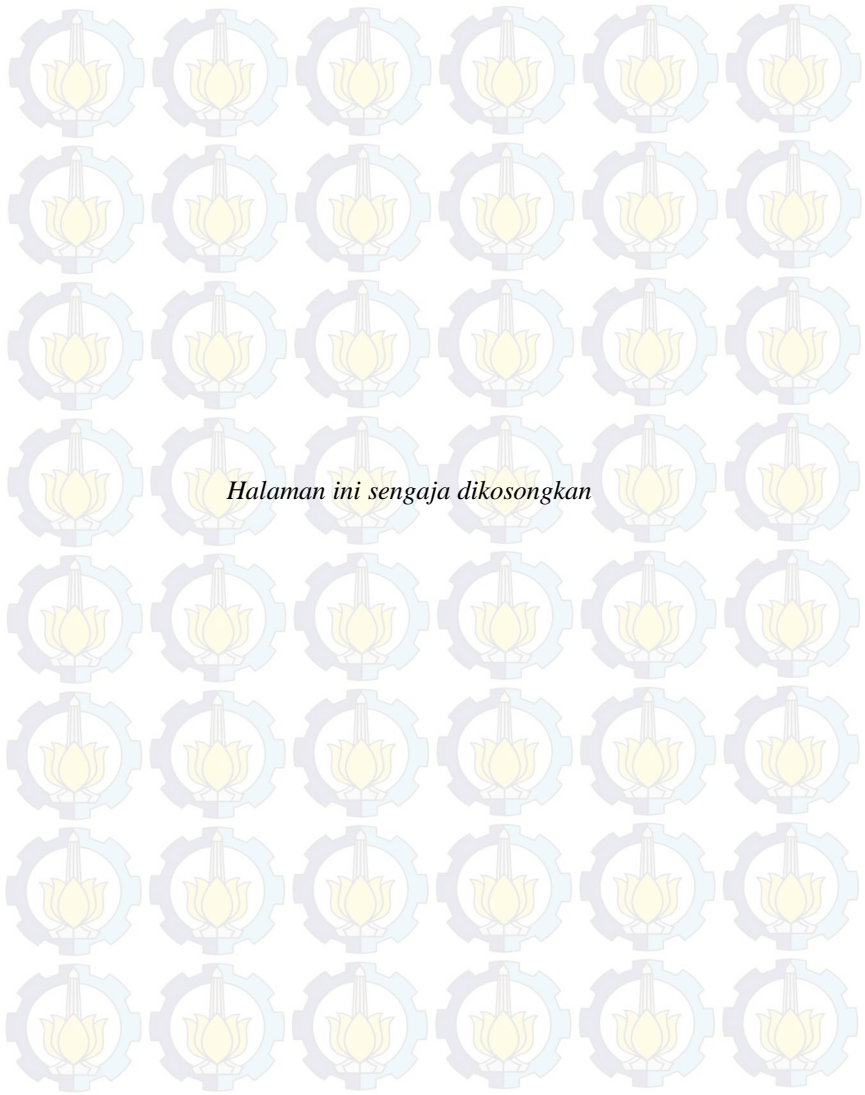
**Gambar 4.56** Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) tidak stabil dalam  $rad/s$  terhadap waktu ( $s$ ) pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat gangguan terjadi di titik H



**Gambar 4.57** Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) stabil dan tidak stabil dalam  $rad/s$  terhadap waktu ( $s$ ) pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat gangguan terjadi di titik H

## DAFTAR PUSTAKA

- 
- [1] IEEE/CIGRE Joint Task Force on Stability Terms and Definitions, “*Definition and Classification of Power System Stability*” *IEEE Transactions on Power system* , vol. 19, no. 2, may 2004.
  - [2] Grainger, J.J., Stevenson, W.D., “*Power System Analysis*”, New York: McGraw-Hill, Inc, 1994
  - [3] Kundur, P., “*Power System Stability and Control*”, McGraw-Hill, Inc, 1994.
  - [4] Saadat, Hadi ”*Power System Analysis*”, McGraw-Hill, Inc, 1999.
  - [5] Athay T., R. Podmore, S. Virmani, “*A Practical Method for the Direct Analysis of Transient Stability,*” *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, Vol. PAS-98, No.2, March/April 1979
  - [6] Grigsby, Leonard L., “*Power System Stability and Control Third Edition*”, Taylor & Francis Group, LLC, 2012
  - [7] Lai, L Lei., Chan T Fun., “*Distributed Generation Induction and Permanent Magnet Generators*”, John Wiley & Sons, Ltd, 2007
  - [8] Kimbark, Edward Wilson, *Power System Stability Volume III Synchronous Machines*, New York: John Wiley & Sons, Inc, 1995.





## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

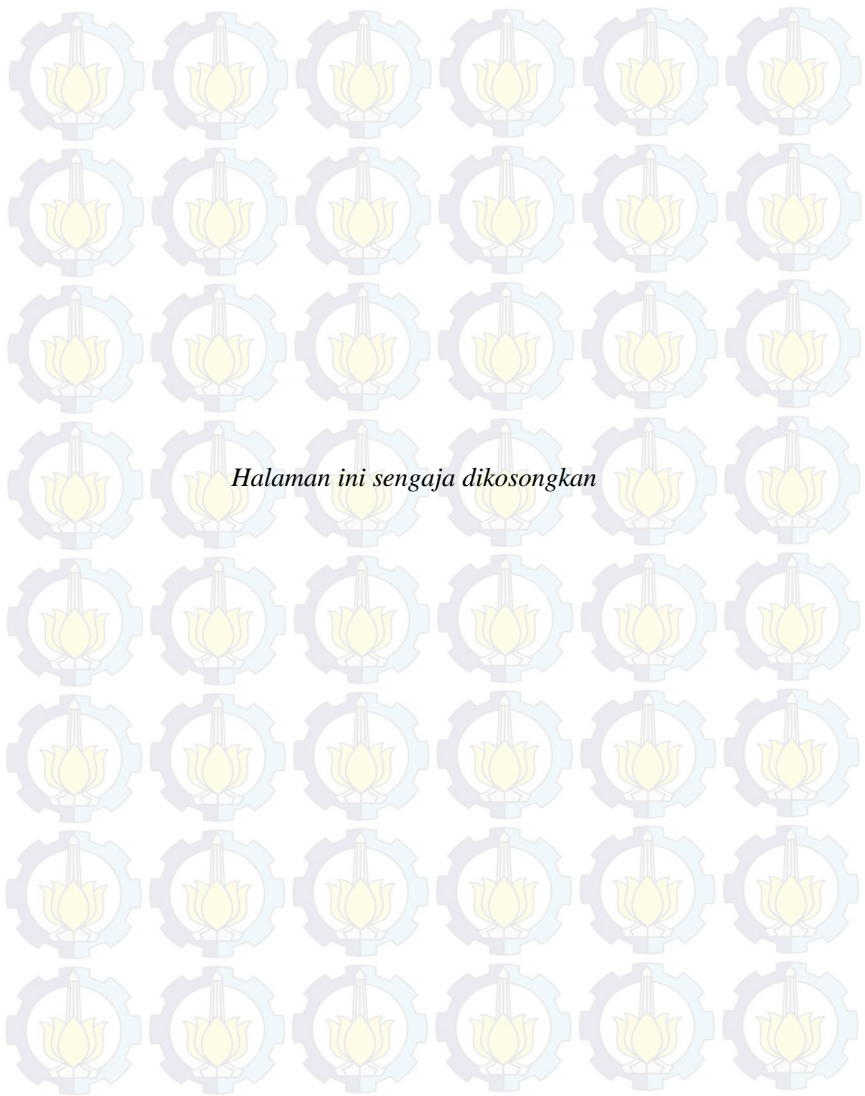
Berdasarkan hasil simulasi dan analisis pada perhitungan CCT menggunakan metode *Time Domain Simulation* pada jaringan radial IEEE 34 bus dapat disimpulkan bahwa beberapa hasil CCT yang didapat, nilai CCT 0,239 detik adalah nilai CCT yang terkecil sehingga sistem akan stabil jika gangguan diputus atau dilokalisir tidak lebih dari waktu 0,239 detik tersebut.

Dapat disimpulkan pula bahwa nilai CCT 0,239 detik digunakan untuk *setting* waktu CB yang terdekat dengan generator untuk semua generator sehingga dengan *setting* waktu tersebut dapat mengakomodir semua kemungkinan terjadinya gangguan hubung singkat pada sistem yang digunakan.

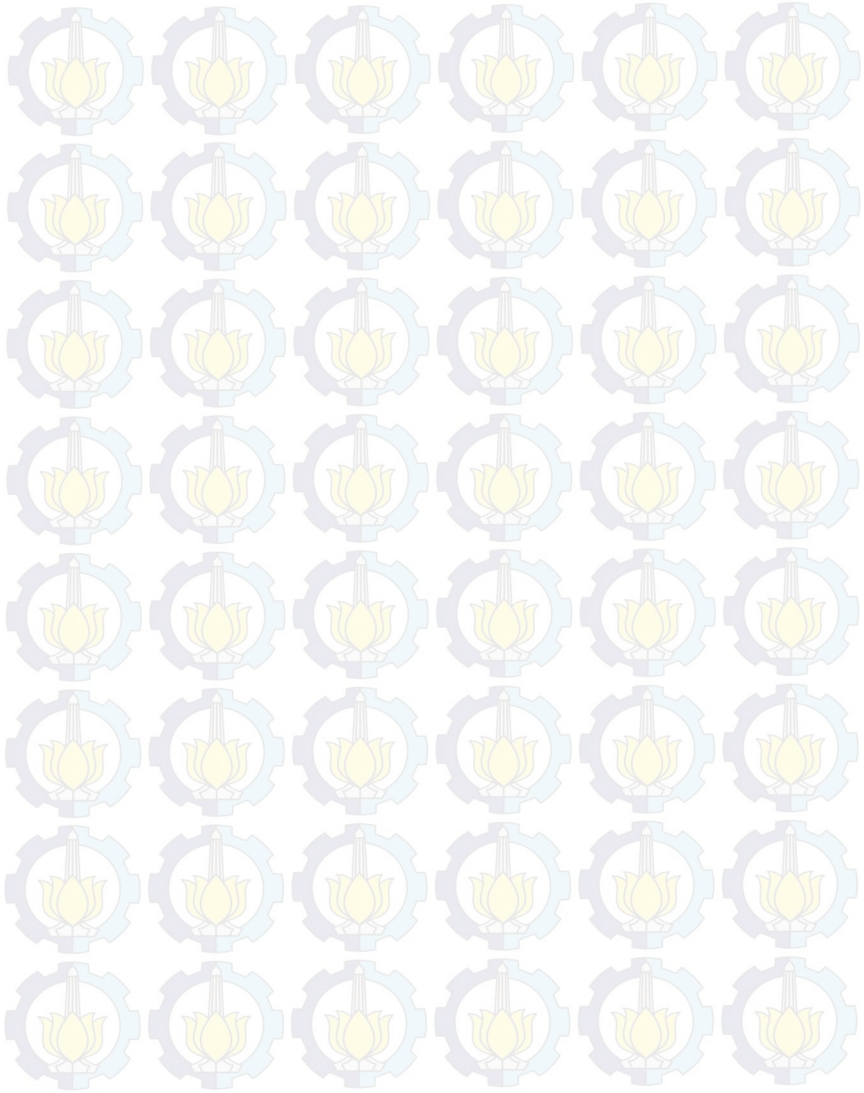
#### **5.2 Saran**

Adapun terdapat beberapa saran yang dapat diberikan untuk dilakukan perbaikan dan pengembangan simulasi dengan metode ini sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan pengecekan apakah hasil simulasi ketika menggunakan reduksi jaringan sama dengan hasil simulasi ketika tidak menggunakan reduksi jaringan sehingga dapat diketahui apakah metode reduksi kron relevan jika digunakan untuk jaringan radial.
2. Perlu dilakukan perhitungan CCT dengan metode lain sehingga dapat dibandingkan dengan metode *Time Domain Simulation*



## LAMPIRAN







# **Transient Stability Analysis of IEEE 34 Bus Distribution Network with Distributed Generation**

**Name** : Azhar Ade Prasetya  
**Advisor I** : Dr. Eng. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng.  
**Advisor II** : Ir. Sjamsjul Anam, M.T.

## **ABSTRACT**

Demand of electrical power is increasing along with the increase the number of population in a territory to fulfill energy electrical home appliances industry and demand of electrical power. To meet a demand the electrical energy, then one of the efforts could be done is placing the distributed generation of that be integrated on a grid .

Power system stability was something that must be considered so continuity of the distribution of electrical energy to stay awake, so that disadvantage of power outage can be minimized. One of the parameters of power system stability is rotor angle stability in the generator, in this case was defined as the generator is distributed generation. Rotor angle stability is the ability of a generator to remain in a state of synchronism after being large disturbance and small disturbance. To keep generator at synchronism condition required critical clearing time after being disturbance to isolate the disturbance. by using the Time Domain Simulation method will be obtained critical clearing time value which is among the time clearing stable and time clearing unstable.

**Keywords** : Distributed generation, Power system stability, Critical clearing time , Time Domain Simulation



## KATA PENGANTAR

*Alhamdulillah Robbil ‘Alamin*, puja dan puji syukur kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia yang tidak terkira berupa kekuatan, kesabaran, dan kelancaran sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini tepat pada waktunya. Adapun tujuan dari penyusunan tugas akhir ini adalah untuk menyelesaikan salah satu persyaratan dalam menyelesaikan studi pada bidang studi Teknik Sistem Tenaga, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang banyak berjasa terutama dalam penyusunan tugas akhir ini, yaitu :

1. Segenap keluarga penulis, Ibu Latifah Hanung , Ayah Sugeng Harijadi serta saudara-saudara tercinta Asri Dyah Pratiwi & Akbar Rakanda Prakasa yang selalu memberikan dukungan, semangat, dan do’a yang tiada hentinya untuk keberhasilan penulis.
2. Bapak Dr. Eng. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng. selaku dosen pembimbing 1 penulis yang telah rela meluangkan banyak waktu, memberikan saran, bimbingan, dan bantuan yang tidak ternilai dalam menyelesaikan tugas akhir ini kepada penulis.
3. Bapak Ir. Sjamsjul Anam, MT. selaku dosen pembimbing 2 penulis yang telah membimbing dan mendukung penulis agar dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.
4. Nurul Fitriah, wanita yang selalu memberikan dukungan, motivasi, waktu, perhatian serta do’a yang tak terhitung jumlahnya kepada penulis.
5. Rekan-rekan gokil LJ-2103 dan Pejuang Tugas Akhir Bli, Haryo, Aam, Neo, Deny, Gondes, Crudi, Arya, Andre, Alfian, Gembol, Sophyan, Halim, Nizar, Hari, Mamed, Aris, Risky, Ulur, Ruri, Oyong dan semua rekan-rekan yang tidak bisa penulis sebutkan satu-satu, Terima Kasih atas kebersamaannya & Semoga bertemu lagi dipuncak dengan sukses dipundak masing-masing.
6. Rekan-rekan gokil Teknik Elektro Industri PENS-ITS Candra, Mufidah, Habib, Uzi, Bagus, Hanafi, Fajar, Lepek, Cimat, Faisal, Deni dan semua rekan-rekan yang tidak bisa penulis sebutkan satu-satu, Terima Kasih atas kebersamaannya walaupun sudah di jalan yang berbeda-beda.

7. Almarhum M. Wahyou Akbar Subagjo, rekan penulis yang menginspirasi atas segala perjuangan yang telah dilakukan.
8. Seluruh rekan asisten dan penghuni LIPIST “B-204” yang membantu kelancaran tugas akhir ini Iskandar, Isa, Faisal, Evin, Wahyu dan rekan-rekan yang tidak bisa penulis sebutkan satu-satu.
9. Seluruh dosen LIPIST “B-204” bapak Heri, bapak Margo, bapak Ardyono, bapak Sidar yang selalu mempermudah birokrasi dan telah sangat ramah kepada penghuni lab termasuk penulis.
10. Bapak Anis, Bapak Azam & mentor-mentor UPT Bahasa ITS yang telah membantu penulis dalam belajar TOEFL
11. Seluruh keluarga besar Teknik Elektro ITS, para dosen, karyawan, mahasiswa, atas dukungan, masukan, dan kerjasamanya selama masa kuliah dan proses pengerjaan tugas akhir.

Kadang kita lupa, bahwa untuk melihat diri kita, jalan terbaik adalah melalui mata orang lain. Besar harapan penulis agar tugas akhir ini dapat memberikan manfaat dan masukan bagi banyak pihak. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik, koreksi, dan saran dari pembaca yang bersifat membangun untuk pengembangan ke arah yang lebih baik.

Surabaya, Mei 2015

Penulis



# DAFTAR ISI

	HALAMAN
<b>JUDUL</b>	
<b>LEMBAR PERNYATAAN</b>	
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b>	
<b>ABSTRAK.....</b>	<b>i</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>iii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN .....</b>	<b>xvii</b>
 <b>BAB 1 PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	1
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan .....	2
1.5 Metodologi .....	2
1.6 Sistematika Penulisan .....	5
1.7 Relevansi .....	5
 <b>BAB 2 KESTABILAN TRANSIEN</b>	
2.1 Kestabilan Sistem Tenaga Listrik.....	7
2.1.1 Kestabilan Tegangan .....	8
2.1.2 Kestabilan Frekuensi .....	8
2.1.3 Kestabilan Sudut Rotor .....	8
2.2 Kestabilan Transien.....	9
2.3 Persamaan Ayunan.....	10
2.4 Pembangkitan Terdistribusi .....	12
2.5 Kumparan Peredam ( <i>Damper Winding</i> ) .....	13
2.6 Waktu Pemutusan Kristis.....	14
 <b>BAB 3 PEMODELAN SISTEM</b>	
3.1 Perhitungan Aliran Daya ( <i>Power Flow</i> ) .....	16
3.1.1 Metode <i>Forward-Backward Sweep</i> .....	17
3.2 Reduksi Jaringan .....	21

3.3	Persamaan Ayunan ( <i>Swing Equation</i> ).....	22
3.4	Metode <i>Runge-Kutta</i> Orde 4.....	25

#### **BAB 4 SIMULASI DAN ANALISIS DATA**

4.1	Sistem IEEE 34 Bus .....	27
4.2	Perhitungan CCT pada Sistem IEEE 34 Bus.....	31
4.3	Analisa Grafik Karakteristik Sistem IEEE 34 Bus dengan Adanya Penambahan Pembangkitan Terdistribusi .....	32

#### **BAB 5 PENUTUP**

5.1	Kesimpulan.....	65
5.2	Saran.....	65

<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>67</b>
-----------------------------	-----------

<b>BIODATA PENULIS .....</b>	<b>69</b>
------------------------------	-----------

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 4.1</b>	Data Saluran Sistem IEEE 34 Bus.....	28
<b>Tabel 4.2</b>	Data Bus Sistem IEEE 34 Bus.....	30
<b>Tabel 4.3</b>	Hasil CCT Sistem IEEE 34 Bus.....	32





## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1.1</b>	Metodologi Tugas Akhir .....	4
<b>Gambar 2.1</b>	Klasifikasi Kestabilan Sistem Tenaga Listrik .....	7
<b>Gambar 2.2</b>	Respon Sudut Rotor Kondisi Stabil terhadap Gangguan Transien.....	9
<b>Gambar 2.3</b>	Respon Sudut Rotor Kondisi tidak Stabil terhadap Gangguan Transien.....	10
<b>Gambar 2.4</b>	Representasi Arah Rotasi dari Torsi Mekanik dan Elektrik.....	11
<b>Gambar 2.5</b>	<i>Damper Winding</i> .....	13
<b>Gambar 3.1</b>	<i>Flowchart Metode Time Domain Simulation</i> .....	15
<b>Gambar 3.2</b>	<i>Single Line Diagram</i> Contoh Analisis Menggunakan Metode <i>Network Topology</i> .....	17
<b>Gambar 3.3</b>	Pemodelan Generator.....	23
<b>Gambar 4.1</b>	Konfigurasi Sistem IEEE 34 Bus Radial .....	28
<b>Gambar 4.2</b>	Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) dalam <b>rad/s</b> terhadap sudut rotor ( $\delta$ ) dalam <b>rad</b> pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat mengalami gangguan di titik A .....	33
<b>Gambar 4.3</b>	Grafik karakteristik sudut rotor ( $\delta$ ) stabil dalam <b>rad</b> terhadap waktu ( <b>s</b> ) pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat gangguan terjadi di titik A .....	34
<b>Gambar 4.4</b>	Grafik karakteristik sudut rotor ( $\delta$ ) tidak stabil dalam <b>rad</b> terhadap waktu ( <b>s</b> ) pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat gangguan terjadi di titik A.....	34
<b>Gambar 4.5</b>	Grafik karakteristik sudut rotor ( $\delta$ ) stabil dan tidak stabil dalam <b>rad</b> terhadap waktu ( <b>s</b> ) pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat gangguan terjadi di titik A .....	35
<b>Gambar 4.6</b>	Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) stabil dalam <b>rad/s</b> terhadap waktu ( <b>s</b> ) pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat gangguan terjadi di titik A .35	
<b>Gambar 4.7</b>	Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) tidak stabil dalam <b>rad/s</b> terhadap waktu ( <b>s</b> ) pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat gangguan terjadi di titik A .....	36

<b>Gambar 4.8</b>	Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) stabil dan tidak stabil dalam <b>rad/s</b> terhadap waktu ( $s$ ) pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat gangguan terjadi di titik A.....	36
<b>Gambar 4.9</b>	Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) dalam <b>rad/s</b> terhadap sudut rotor ( $\delta$ ) dalam <b>rad</b> pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat mengalami gangguan di titik B.....	37
<b>Gambar 4.10</b>	Grafik karakteristik sudut rotor ( $\delta$ ) stabil dalam <b>rad</b> terhadap waktu ( $s$ ) pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat gangguan terjadi di titik B .....	38
<b>Gambar 4.11</b>	Grafik karakteristik sudut rotor ( $\delta$ ) tidak stabil dalam <b>rad</b> terhadap waktu ( $s$ ) pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat gangguan terjadi di titik B .....	38
<b>Gambar 4.12</b>	Grafik karakteristik sudut rotor ( $\delta$ ) stabil dan tidak stabil dalam <b>rad</b> terhadap waktu ( $s$ ) pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat gangguan terjadi di titik B .....	39
<b>Gambar 4.13</b>	Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) stabil dalam <b>rad/s</b> terhadap waktu ( $s$ ) pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat gangguan terjadi di titik B .	39
<b>Gambar 4.14</b>	Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) tidak stabil dalam <b>rad/s</b> terhadap waktu ( $s$ ) pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat gangguan terjadi di titik B.....	40
<b>Gambar 4.15</b>	Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) stabil dan tidak stabil dalam <b>rad/s</b> terhadap waktu ( $s$ ) pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat gangguan terjadi di titik B.....	40
<b>Gambar 4.16</b>	Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) dalam <b>rad/s</b> terhadap sudut rotor ( $\delta$ ) dalam <b>rad</b> pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat mengalami gangguan di titik C.....	41
<b>Gambar 4.17</b>	Grafik karakteristik sudut rotor ( $\delta$ ) stabil dalam <b>rad</b> terhadap waktu ( $s$ ) pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat gangguan terjadi di titik C .....	42

<b>Gambar 4.18</b>	Grafik karakteristik sudut rotor ( $\delta$ ) tidak stabil dalam <i>rad</i> terhadap waktu ( <i>s</i> ) pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat gangguan terjadi di titik C.....	42
<b>Gambar 4.19</b>	Grafik karakteristik sudut rotor ( $\delta$ ) stabil dan tidak stabil dalam <i>rad</i> terhadap waktu ( <i>s</i> ) pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat gangguan terjadi di titik C .....	43
<b>Gambar 4.20</b>	Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) stabil dalam <i>rad/s</i> terhadap waktu ( <i>s</i> ) pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat gangguan terjadi di titik C.....	43
<b>Gambar 4.21</b>	Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) tidak stabil dalam <i>rad/s</i> terhadap waktu ( <i>s</i> ) pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat gangguan terjadi di titik C .....	44
<b>Gambar 4.22</b>	Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) stabil dan tidak stabil dalam <i>rad/s</i> terhadap waktu ( <i>s</i> ) pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat gangguan terjadi di titik C .....	44
<b>Gambar 4.23</b>	Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) dalam <i>rad/s</i> terhadap sudut rotor ( $\delta$ ) dalam <i>rad</i> pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat mengalami gangguan di titik D.....	45
<b>Gambar 4.24</b>	Grafik karakteristik sudut rotor ( $\delta$ ) stabil dalam <i>rad</i> terhadap waktu ( <i>s</i> ) pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat gangguan terjadi di titik D.....	46
<b>Gambar 4.25</b>	Grafik karakteristik sudut rotor ( $\delta$ ) tidak stabil dalam <i>rad</i> terhadap waktu ( <i>s</i> ) pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat gangguan terjadi di titik D.....	46
<b>Gambar 4.26</b>	Grafik karakteristik sudut rotor ( $\delta$ ) stabil dan tidak stabil dalam <i>rad</i> terhadap waktu ( <i>s</i> ) pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat gangguan terjadi di titik D .....	47
<b>Gambar 4.27</b>	Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) stabil dalam <i>rad/s</i> terhadap waktu ( <i>s</i> ) pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat gangguan terjadi di titik D .....	47
<b>Gambar 4.28</b>	Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) tidak stabil dalam <i>rad/s</i> terhadap waktu ( <i>s</i> ) pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat gangguan terjadi di titik D.....	48



<b>Gambar 4.29</b>	Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) stabil dan tidak stabil dalam <b>rad/s</b> terhadap waktu ( <b>s</b> ) pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat gangguan terjadi di titik D.....	48
<b>Gambar 4.30</b>	Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) dalam <b>rad/s</b> terhadap sudut rotor ( $\delta$ ) dalam <b>rad</b> pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat mengalami gangguan di titik E.....	49
<b>Gambar 4.31</b>	Grafik karakteristik sudut rotor ( $\delta$ ) stabil dalam <b>rad</b> terhadap waktu ( <b>s</b> ) pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat gangguan terjadi di titik E.....	50
<b>Gambar 4.32</b>	Grafik karakteristik sudut rotor ( $\delta$ ) tidak stabil dalam <b>rad</b> terhadap waktu ( <b>s</b> ) pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat gangguan terjadi di titik E.....	50
<b>Gambar 4.33</b>	Grafik karakteristik sudut rotor ( $\delta$ ) stabil dan tidak stabil dalam <b>rad</b> terhadap waktu ( <b>s</b> ) pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat gangguan terjadi di titik E.....	51
<b>Gambar 4.34</b>	Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) stabil dalam <b>rad/s</b> terhadap waktu ( <b>s</b> ) pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat gangguan terjadi di titik E .	51
<b>Gambar 4.35</b>	Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) tidak stabil dalam <b>rad/s</b> terhadap waktu ( <b>s</b> ) pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat gangguan terjadi di titik E.....	52
<b>Gambar 4.36</b>	Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) stabil dan tidak stabil dalam <b>rad/s</b> terhadap waktu ( <b>s</b> ) pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat gangguan terjadi di titik E.....	52
<b>Gambar 4.37</b>	Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) dalam <b>rad/s</b> terhadap sudut rotor ( $\delta$ ) dalam <b>rad</b> pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat mengalami gangguan di titik F.....	53
<b>Gambar 4.38</b>	Grafik karakteristik sudut rotor ( $\delta$ ) stabil dalam <b>rad</b> terhadap waktu ( <b>s</b> ) pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat gangguan terjadi di titik F.....	54



<b>Gambar 4.39</b>	Grafik karakteristik sudut rotor ( $\delta$ ) tidak stabil dalam <b>rad</b> terhadap waktu ( $s$ ) pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat gangguan terjadi di titik F .....	54
<b>Gambar 4.40</b>	Grafik karakteristik sudut rotor ( $\delta$ ) stabil dan tidak stabil dalam <b>rad</b> terhadap waktu ( $s$ ) pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat gangguan terjadi di titik F .....	55
<b>Gambar 4.41</b>	Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) stabil dalam <b>rad/s</b> terhadap waktu ( $s$ ) pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat gangguan terjadi di titik F ..	55
<b>Gambar 4.42</b>	Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) tidak stabil dalam <b>rad/s</b> terhadap waktu ( $s$ ) pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat gangguan terjadi di titik F .....	56
<b>Gambar 4.43</b>	Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) stabil dan tidak stabil dalam <b>rad/s</b> terhadap waktu ( $s$ ) pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat gangguan terjadi di titik F .....	56
<b>Gambar 4.44</b>	Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) dalam <b>rad/s</b> terhadap sudut rotor ( $\delta$ ) dalam <b>rad</b> pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat mengalami gangguan di titik G .....	57
<b>Gambar 4.45</b>	Grafik karakteristik sudut rotor ( $\delta$ ) stabil dalam <b>rad</b> terhadap waktu ( $s$ ) pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat gangguan terjadi di titik G .....	58
<b>Gambar 4.46</b>	Grafik karakteristik sudut rotor ( $\delta$ ) tidak stabil dalam <b>rad</b> terhadap waktu ( $s$ ) pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat gangguan terjadi di titik G .....	58
<b>Gambar 4.47</b>	Grafik karakteristik sudut rotor ( $\delta$ ) stabil dan tidak stabil dalam <b>rad</b> terhadap waktu ( $s$ ) pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat gangguan terjadi di titik G .....	59
<b>Gambar 4.48</b>	Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) stabil dalam <b>rad/s</b> terhadap waktu ( $s$ ) pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat gangguan terjadi di titik G ..	59

<b>Gambar 4.49</b>	Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) tidak stabil dalam <i>rad/s</i> terhadap waktu ( <i>s</i> ) pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat gangguan terjadi di titik G .....	60
<b>Gambar 4.50</b>	Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) stabil dan tidak stabil dalam <i>rad/s</i> terhadap waktu ( <i>s</i> ) pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat gangguan terjadi di titik G.....	60
<b>Gambar 4.51</b>	Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) dalam <i>rad/s</i> terhadap sudut rotor ( $\delta$ ) dalam <i>rad</i> pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat mengalami gangguan di titik H .....	61
<b>Gambar 4.52</b>	Grafik karakteristik sudut rotor ( $\delta$ ) stabil dalam <i>rad</i> terhadap waktu ( <i>s</i> ) pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat gangguan terjadi di titik H .....	62
<b>Gambar 4.53</b>	Grafik karakteristik sudut rotor ( $\delta$ ) tidak stabil dalam <i>rad</i> terhadap waktu ( <i>s</i> ) pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat gangguan terjadi di titik H .....	62
<b>Gambar 4.54</b>	Grafik karakteristik sudut rotor ( $\delta$ ) stabil dan tidak stabil dalam <i>rad</i> terhadap waktu ( <i>s</i> ) pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat gangguan terjadi di titik H .....	63
<b>Gambar 4.55</b>	Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) stabil dalam <i>rad/s</i> terhadap waktu ( <i>s</i> ) pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat gangguan terjadi di titik H. 63	
<b>Gambar 4.56</b>	Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) tidak stabil dalam <i>rad/s</i> terhadap waktu ( <i>s</i> ) pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat gangguan terjadi di titik H .....	64
<b>Gambar 4.57</b>	Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) stabil dan tidak stabil dalam <i>rad/s</i> terhadap waktu ( <i>s</i> ) pada sistem IEEE 34 bus dengan <i>damping</i> saat gangguan terjadi di titik H.....	64

## BIODATA PENULIS



**Azhar Ade Prasetya**, dilahirkan di kota Sidoarjo, Jawa Timur pada 04 September 1992. Penulis adalah putra dari pasangan Sugeng Harijadi dan Latifah Hanung. Memulai jenjang pendidikan di TK Aisyah Waru Sidoarjo, kemudian melanjutkan pendidikan formal di SDN Wedoro I Waru Sidoarjo, SMPN 1 Waru Sidoarjo, dan SMAN 1 Waru Sidoarjo hingga lulus pada tahun 2010. Pada tahun itu juga, penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang perguruan tinggi di Politeknik Elektronika Negeri Surabaya Institut Teknologi Sepuluh

Nopember Program Studi D3 Teknik Elektro industri kemudian penulis melanjutkan pendidikan di S1 Teknik Elektro dengan bidang studi Teknik Sistem Tenaga Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Penulis dapat dihubungi melalui email [azhar.adeprasetya@gmail.com](mailto:azhar.adeprasetya@gmail.com)



*Halaman ini sengaja dikosongkan*



# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Kebutuhan energi listrik semakin meningkat seiring dengan semakin meningkatnya jumlah penduduk pada suatu wilayah baik untuk memenuhi kebutuhan energi listrik rumah tangga maupun kebutuhan energi listrik industri. Untuk memenuhi permintaan energi listrik tersebut, maka salah satu upaya yang bisa dilakukan adalah dengan memasang pembangkitan terdistribusi yang diintegrasikan pada jaringan distribusi PLN. Kestabilan sistem tenaga listrik merupakan hal yang harus diperhatikan agar kontinuitas penyaluran energi listrik tetap terjaga, sehingga kerugian-kerugian yang timbul akibat dari pemadaman listrik dapat diminimalisir. Salah satu parameter kestabilan sistem tenaga listrik adalah kestabilan sudut rotor pada generator, dalam hal ini generator yang dimaksud adalah generator dari pembangkitan terdistribusi.

Stabilitas sudut rotor adalah kemampuan dari generator untuk mempertahankan keadaan sinkronnya ketika terjadi suatu gangguan, baik dari gangguan besar maupun gangguan kecil. Keadaan sinkron adalah keadaan dimana interkoneksi mesin sinkron pada sistem tenaga tetap dalam kondisi sinkronnya. Beberapa hal yang dapat menyebabkan generator kehilangan kondisi sinkronnya antara lain adalah hubung singkat, pelepasan dan penambahan beban secara tiba-tiba serta kehilangan salah satu pembangkit. Hal tersebut yang akan membuat rotor mengalami perlambatan atau percepatan, sehingga selisih sudut rotor dengan stator akan berubah. Jika kondisi tersebut berlangsung lama dan tidak segera diatasi maka generator akan mengalami *Loss of Sinkron* sehingga generator harus dilepas dari sistem. waktu pelepasan generator ini yang biasa disebut *Critical Clearing Time (CCT)*.

### **1.2 Perumusan Masalah**

Perumusan Masalah yang akan dibahas pada tugas akhir ini adalah :

1. Bagaimana menggunakan metode *Time Domain Simulation* untuk menentukan nilai CCT untuk kestabilan sistem tenaga listrik.
2. Bagaimana menentukan nilai CCT yang sesuai, sehingga generator tetap dalam kondisi sinkronnya setelah terjadinya gangguan ?

### 1.3 Batasan Masalah

Dalam pengerjaan tugas akhir ini, permasalahan dibatasi sebagai berikut :

1. Metode yang digunakan untuk mencari CCT adalah menggunakan *Time Domain Simulation*
2. Sistem yang dipakai adalah sistem IEEE 34 Bus 1 phase
3. Simulasi menggunakan *software* MATLAB

### 1.4 Tujuan

Tugas akhir ini bertujuan untuk menentukan nilai CCT pada suatu sistem dengan banyak generator, sehingga hasilnya akan dapat memberikan gambaran nilai *setting* waktu rele yang sesuai dengan kestabilannya.

### 1.5 Metodologi

Metodologi penelitian yang dilakukan dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Studi literature  
Literature yang digunakan berasal dari *paper*, jurnal dan *text book*. Dalam studi literature dipelajari teori – teori tentang *Transient Stability*, cara menggunakan *Time Domain Simulation* untuk menentukan CCT serta perancangan perangkat lunak menggunakan Matlab.
2. Pengumpulan data  
Data yang digunakan meliputi data bus dan data saluran. Data bus terdiri atas data beban yang digunakan untuk mendapatkan nilai daya aktif dan daya reaktif pada setiap cabang. Data saluran terdiri atas resistansi dan reaktansi tiap saluran.

### 3. Pemodelan

Setelah dilakukan studi literatur, penulis melakukan pemodelan awal tentang rancangan awal metode *Time Domain Simulation*. Dari pemodelan ini didapatkan alur metode *Time Domain Simulation* untuk menentukan nilai CCT yang sesuai.

### 4. Perancangan perangkat lunak

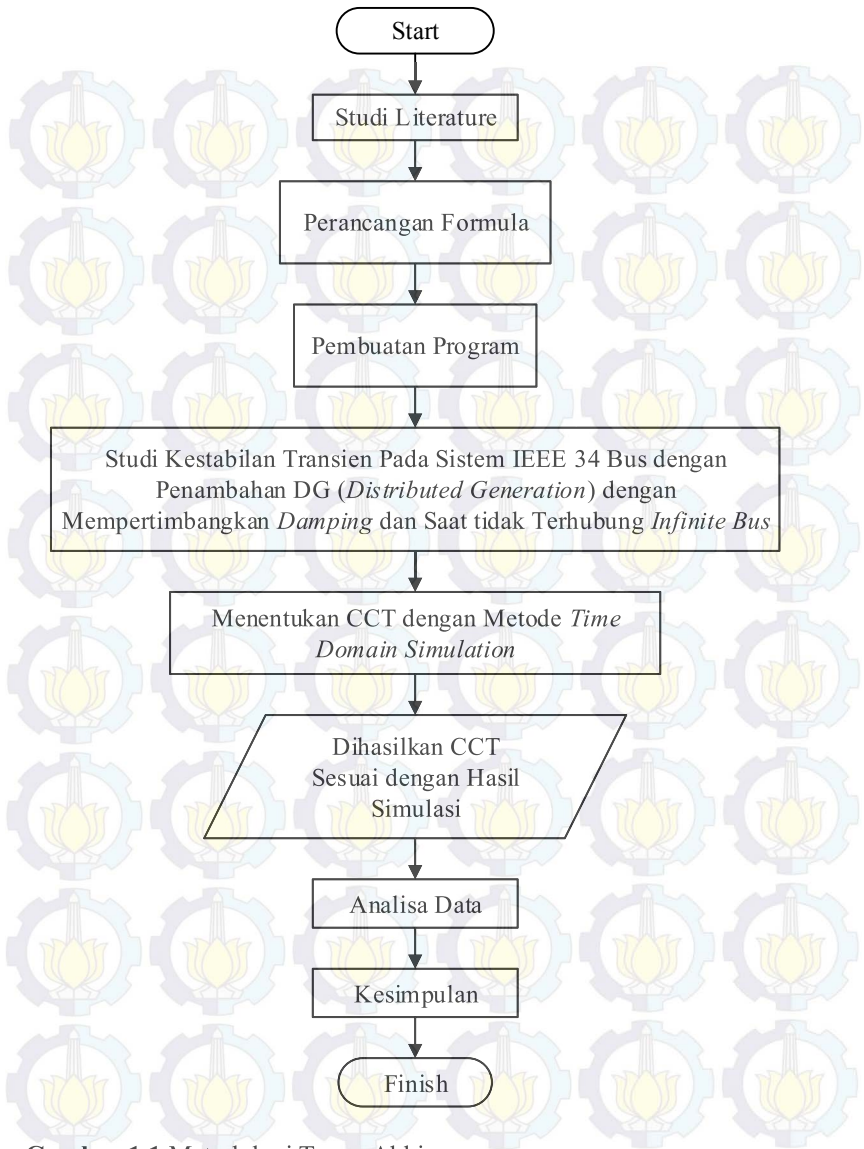
Setelah dilakukan pemodelan sehingga penulis mendapatkan alur dari metode *Time Domain Simulation*, kemudian penulis melakukan listing program pada *Software* MATLAB yang digunakan untuk menentukan CCT.

### 5. Simulasi dan analisis

Setelah melakukan perancangan perangkat lunak, simulasi dilakukan dengan menggunakan sistem IEEE 34 bus. Dari simulasi yang dilakukan maka akan didapatkan nilai CCT yang sesuai kemudian data hasil simulasi akan dinalisis.

### 6. Penulisan buku

Hasil penelitian yang telah dilakukan dilaporkan dalam bentuk laporan tugas akhir dan paper. Laporan berisi metode dan kesimpulan dari penelitian.



**Gambar 1.1** Metodologi Tugas Akhir



## 1.6 Sistematika Penulisan

Laporan Tugas Akhir ini disusun dalam suatu sistematika sebagai berikut :

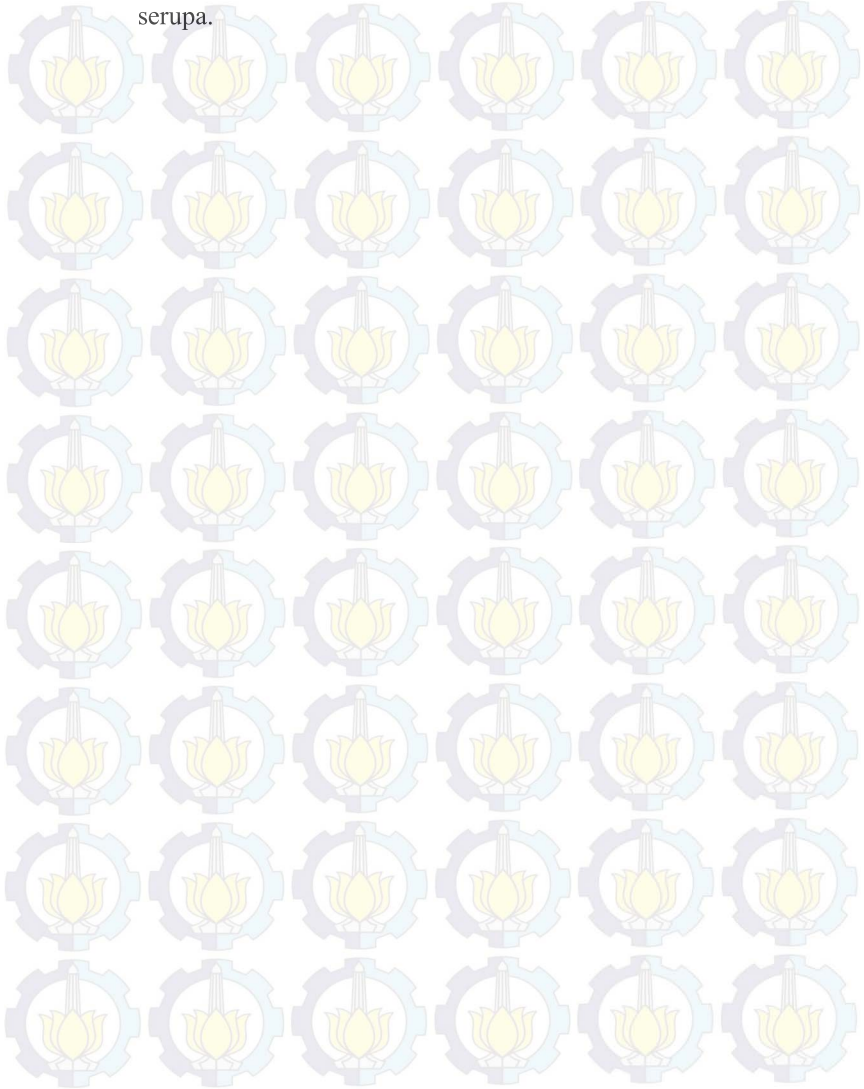
- Bab 1  
Bab ini akan menjelaskan tentang pendahuluan tugas akhir yang membahas mengenai latar belakang, tujuan penelitian, permasalahan, batasan masalah, metodologi, sistematika penulisan dan relevansi dari Tugas Akhir.
- Bab 2  
Bab ini akan menjelaskan tentang teori-teori kestabilan transien yang digunakan dalam tugas akhir ini. Teori-teori tersebut meliputi kestabilan sistem tenaga listrik, kestabilan transien, persamaan ayunan (*swing equation*), dan CCT.
- Bab 3  
Bab ini akan menjelaskan tentang alur atau langkah-langkah yang dilakukan dalam menentukan nilai CCT dengan metode *Time Domain Simulation*, serta akan dilakukan penjabaran tentang metode yang digunakan.
- Bab 4  
Bab ini berisi tentang hasil simulasi dan analisa data dari nilai CCT yang didapatkan. Analisa dilakukan untuk melihat apakah nilai CCT yang didapatkan sudah sesuai atau tidak.
- Bab 5  
Kesimpulan Tugas Akhir yang mengemukakan hasil pembahasan dan saran-saran sehubungan dengan pokok-pokok pembahasan.

## 1.7 Relevansi

Hasil yang diperoleh dari Tugas Akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat berikut :

1. Memberikan kontribusi terhadap perkembangan sistem kelistrikan, khususnya pada permasalahan yang terkait dalam kestabilan transien.
2. Dapat meningkatkan penguasaan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (IPTEK) di bidang Sistem Tenaga listrik bagi pengusul Tugas Akhir.

3. Dapat menjadi referensi bagi mahasiswa lain yang akan mengambil Tugas Akhir yang mengambil masalah yang serupa.

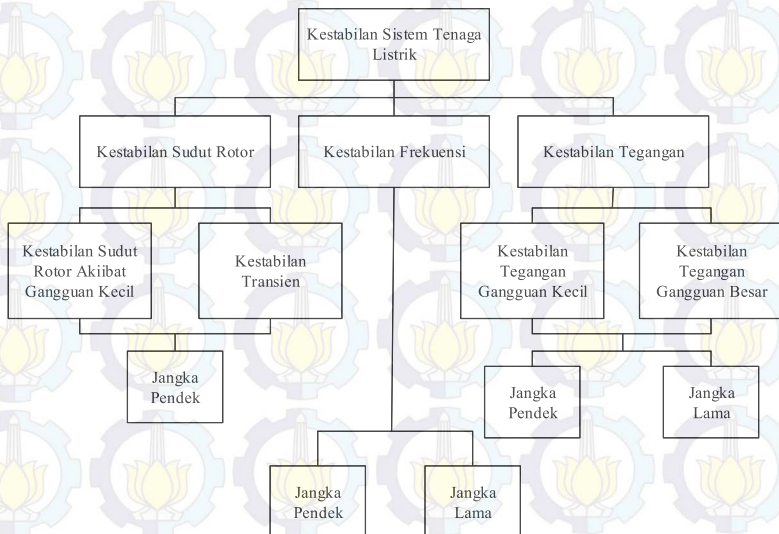


## BAB II

### KESTABILAN TRANSIEN

#### 2.1 Kestabilan Sistem Tenaga Listrik

Berdasarkan referensi [1], kestabilan sistem tenaga listrik secara umum dapat didefinisikan sebagai kemampuan dari sistem tenaga listrik untuk kembali pada kondisi normal setelah terjadi gangguan. Kondisi normal yang dimaksud adalah kondisi dimana kestabilan tegangan, kestabilan frekuensi dan kestabilan sudut rotor tetap dalam batas-batas kestabilannya. Pada gambar 2.1 ditunjukkan pengklasifikasian kestabilan sistem tenaga listrik sehingga dapat mempermudah dalam melakukan analisa kestabilan.



**Gambar 2.1** Klasifikasi Kestabilan Sistem Tenaga Listrik

Berdasarkan referensi [2], gangguan-gangguan yang menyebabkan ketidakstabilan diklasifikasikan menjadi 2 macam jenis gangguan.

Gangguan yang pertama adalah gangguan-gangguan yang sifatnya kecil seperti sebuah perubahan *gain* pada *Automatic Voltage Regulator* (AVR) pada sistem eksitasi dan fluktuasi perubahan beban secara terus menerus bisa dikategorikan menjadi gangguan kecil. Gangguan yang kedua adalah gangguan-gangguan yang sifatnya besar seperti hubungan singkat, perubahan beban besar yang mendadak dan kehilangan salah satu unit pembangkit bisa dikategorikan menjadi gangguan besar.

### **2.1.1 Kestabilan Tegangan**

Berdasarkan referensi [3], kestabilan tegangan adalah kemampuan dari suatu sistem tenaga untuk tetap mempertahankan nilai tegangan pada kondisi operasi normal pada setiap bus setelah terjadi gangguan kecil atau gangguan besar dalam jangka pendek atau jangka panjang.

Kestabilan tegangan gangguan besar adalah kemampuan sistem untuk mempertahankan nilai tegangan pada kondisi normal setelah terjadinya gangguan besar seperti *generator outage* atau terjadi hubungan singkat. Kemampuan sistem dapat dilihat dari respon interaksi dari pengatur tegangan seperti *Tap Changer* trafo dan sistem proteksi.

Kestabilan tegangan gangguan kecil adalah kemampuan sistem untuk mempertahankan nilai tegangan pada kondisi normal setelah terjadinya gangguan kecil seperti perubahan kecil pada sistem beban.

### **2.1.2 Kestabilan Frekuensi**

Berdasarkan referensi [5], kestabilan frekuensi adalah kemampuan dari suatu sistem tenaga untuk tetap mempertahankan nilai frekuensi fundamental atau nilai frekuensi pada kondisi operasi normal setelah terjadi gangguan. Gangguan perubahan frekuensi biasanya dikarenakan tidak seimbangnya antara daya pembangkitan dengan daya beban. Kemampuan sistem dapat dilihat dari respon dari pengatur frekuensi yaitu *governor*.

### **2.1.3 Kestabilan Sudut Rotor**

Berdasarkan referensi [3], kestabilan sudut rotor adalah kemampuan dari interkoneksi mesin sinkron dari suatu sistem tenaga untuk tetap dalam kondisi sinkronnya setelah terjadi gangguan kecil atau gangguan besar.

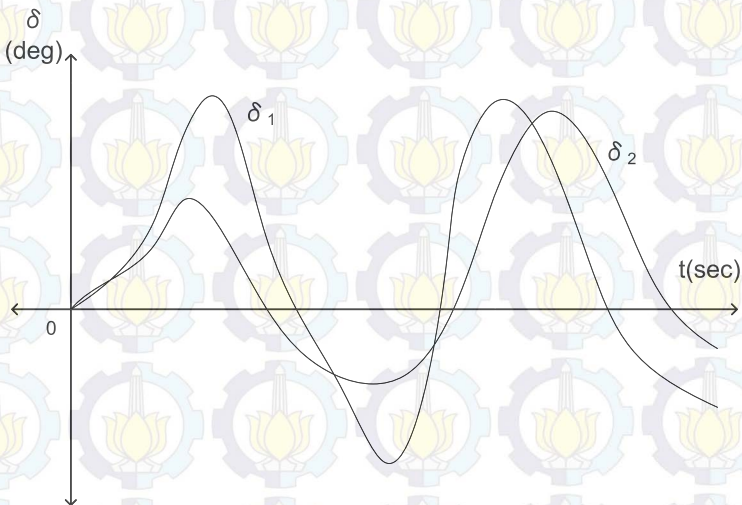


Kestabilan sudut rotor gangguan kecil atau yang biasa disebut *Small Signal Stability* adalah kemampuan sistem tenaga untuk mempertahankan kondisi sinkronnya setelah terjadi gangguan kecil seperti perubahan-perubahan kecil yang terus menerus pada daya beban atau daya pembangkitan.

Kestabilan sudut rotor gangguan besar atau yang biasa disebut *Transient Stability* adalah kemampuan sistem tenaga untuk mempertahankan kondisi sinkronnya setelah terjadinya gangguan besar seperti *generator outage* atau hubung singkat.

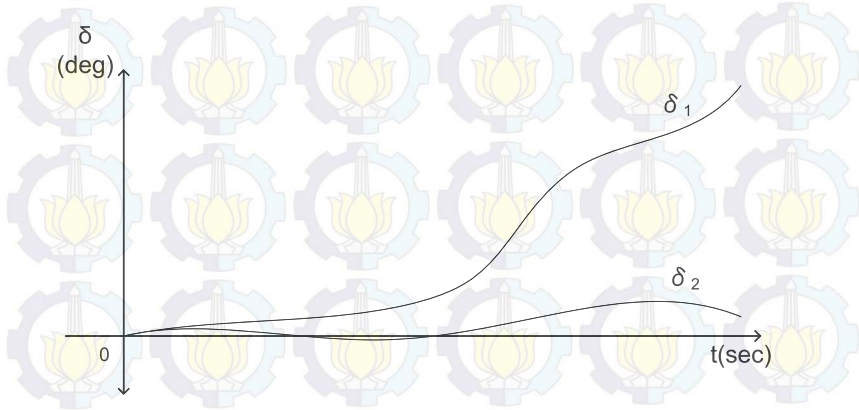
## 2.2 Kestabilan Transien

Kestabilan transien adalah kemampuan sistem tenaga untuk mempertahankan kondisi sinkronnya setelah terjadinya gangguan besar. Respon sistem yang dihasilkan dari kestabilan transien dapat dilihat dari hubungan nonlinier sudut daya generator.



**Gambar 2.2** Respon Sudut Rotor Kondisi Stabil terhadap Gangguan Transien

Berdasarkan referensi [4], gambar 2.2 mengilustrasikan kondisi 2 generator untuk kondisi stabil, ketika gangguan diputus dibawah nilai CCT-nya maka diperlihatkan bahwa sudut daya antara kedua generator memiliki nilai yang berbeda, tetapi kedua generator tersebut akan berayun bersama kembali sehingga sistem akan menemukan titik kestabilan yang baru.



**Gambar 2.3** Respon Sudut Rotor Kondisi tidak Stabil terhadap Gangguan Transien

Gambar 2.3 mengilustrasikan kondisi 2 generator untuk kondisi tidak stabil, ketika gangguan diputus diatas nilai CCT-nya maka diperlihatkan bahwa sudut daya antara kedua generator akan terpisah sehingga tidak akan bertemu kembali pada satu titik.

### 2.3 Persamaan Ayunan (Swing Equation)

Persamaan ayunan dari sebuah mesin sinkron memiliki hubungan dengan persamaan gerak rotor, dimana kita dapat menuliskannya sebagai berikut :

$$J \frac{d^2 \omega_r}{dt^2} = T_a = T_m - T_e \quad (2.4.1)$$

Dimana :

$J$  = Total momen inersia ( $\text{kg-m}^2$ )

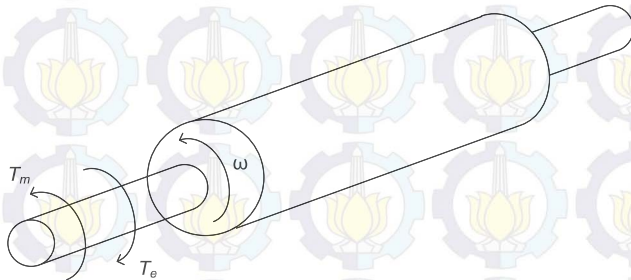
$\omega_r$  = Perpindahan sudut dari rotor terhadap sumbu yang diam (rad)

$T_m$  = Torsi mekanik (N-m)

$T_e$  = Torsi elektrik (N-m)

$T_a$  = Torsi percepatan atau perlambatan (N-m)

Berdasarkan referensi [5], dalam hubungan kinerja inersia mesin terhadap sistem secara keseluruhan, akan lebih berguna untuk menuliskan persamaan ayunan kedalam sudut elektrik yang berhubungan dengan posisi rotor dari sebuah mesin sinkron. Berdasarkan referensi [2], pada saat kondisi normal,  $T_m$  adalah sama dengan  $T_e$  sehingga tidak ada torsi percepatan atau perlambatan  $T_a$ . Pada kasus ini tidak timbul percepatan atau perlambatan dari rotor dan kecepatan konstan yang dihasilkan adalah kecepatan sinkron. Perputaran massa yang termasuk rotor dari generator dan *prime mover* dapat dikatakan dalam kondisi sinkronnya dengan pengoperasian mesin lain pada kecepatan sinkron pada suatu sistem tenaga. Torsi mekanik ( $T_m$ ) diatas dianggap konstan pada setiap kondisi operasinya, asumsi ini dianggap adil karena masukan dari *prime mover* dikontrol oleh *governor*. *Governor* tidak bekerja sampai perubahan kecepatan dirasakan sehingga *governor* dianggap tidak efektif selama periode waktu dimana perubahan dinamika rotor pada studi kestabilan ini.



**Gambar 2.4** Representasi Arah Rotasi dari Torsi Mekanik dan Elektrik

Berdasarkan referensi [6], untuk mengamati sebuah sistem stabil secara transien atau tidak selama gangguan, diperlukan sudut rotor untuk berosilasi disekitar titik keseimbangannya. Jika sudut rotor meningkat secara terus menerus, maka bisa dikatakan mesin tersebut tidak stabil secara transien. Pada sistem multimesin, mesin tersebut keluar dari kehilangan kondisi sinkronnya dengan mesin yang lain.

## 2.4 Pembangkitan Terdistribusi (*Distributed Generation*)

Berdasarkan referensi [7], pembangkitan terdistribusi adalah penggunaan pembangkit dengan kapasitas kecil yang terpasang pada titik-titik strategis dari suatu sistem tenaga listrik atau lokasi pusat beban. Pembangkitan terdistribusi dapat digunakan untuk menyuplai permintaan daya untuk konsumen lokal atau diintegrasikan kedalam *grid* untuk memberikan daya tambahan pada *grid*.

Pembangkitan terdistribusi dapat diaplikasikan pada banyak cara, beberapa contohnya adalah sebagai berikut :

- Untuk kestabilan jaringan pada penggunaan peralatan dengan respon yang cepat untuk pemeliharaan keamanan sistem transmisi.
- DG dapat menyediakan tenaga cadangan selama sistem utiliti putus, untuk fasilitas-fasilitas umum yang membutuhkan pelayanan kontinyu.
- DG dapat menyediakan kualitas daya yang lebih baik untuk peralatan elektronik.
- Untuk suplai daya reaktif dan pengatur tegangan dari pembangkitan dengan meng-injeksikan dan menyerap daya reaktif untuk mengontrol tegangan pada grid.

Pembangkitan terdistribusi dapat menyediakan keuntungan untuk konsumen, beberapa contohnya adalah sebagai berikut :

- DG dapat menyediakan keandalan dan kualitas daya yang baik yang dibutuhkan oleh industri, terutama ketika dikombinasikan dengan penyimpanan energi dan teknologi kualitas daya.
- Biaya transmisi dapat direduksi karena letak pembangkitan yang dekat dengan beban.



## 2.5 Kumputan Peredam (*Damper Winding*)

Kumputan peredam atau *damper winding* merupakan kumputan atau batangan yang terbuat dari plat besi yang dihubungkan singkat (tertutup) yang diletakkan pada slot-slot pada rotor mesin sinkron yang berfungsi untuk meredam osilasi rotor ketika berputar. Ketika motor berada pada kecepatan sinkronnya, tidak ada fluks yang terpotong oleh *damper winding* sehingga tidak ada tegangan induksi didalamnya. Namun, ketika terjadi osilasi, terdapat fluks yang terpotong oleh *damper winding* sehingga muncul tegangan induksi. Karena *damper winding* adalah sebuah rangkaian tertutup, maka timbul arus. Karena stator memberikan fluks, maka pada *damper winding* akan timbul gaya yang berfungsi untuk meredam osilasi. Perlu diingat, osilasi yang dapat diredam oleh *damper winding* merupakan osilasi skala kecil. Untuk osilasi skala besar, digunakan *power system stabilizer*. Dimana dilakukan eksitasi yang masuk ke rotor. Dalam hal ini, *damper winding* sedikit membantu untuk memperbaiki stabilitas suatu sistem. hingga saat ini *damper winding* banyak digunakan untuk membantu dalam *starting* motor sinkron.

Berikut gambaran dari *damper winding* yang telah dipasangkan pada rotor mesin sinkron :



**Gambar 2.5** *Damper Winding*[8]

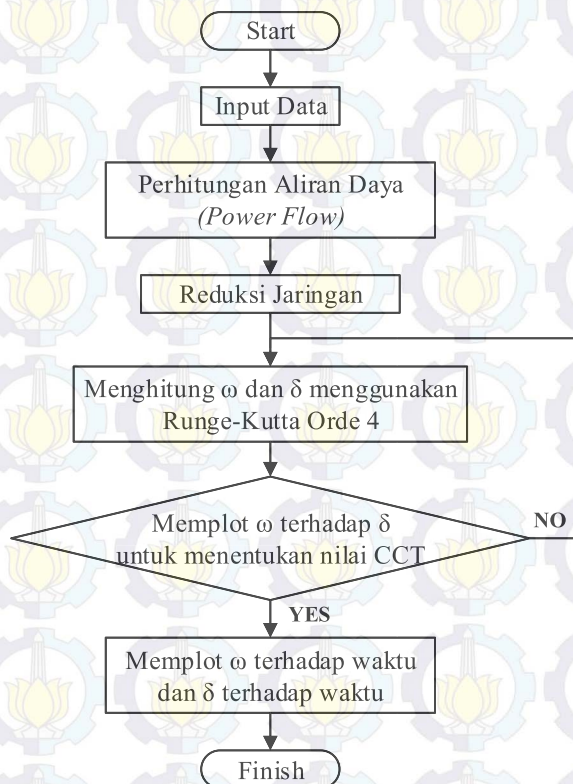
## 2.6 Waktu Pemutusan Kritis (*Critical Clearing Time*)

CCT atau *critical clearing time* adalah waktu maksimal yang diijinkan untuk CB (*Circuit Breaker*) membuka (*open*) ketika terjadi gangguan. Pada umumnya suatu sistem proteksi, ketika terjadi gangguan pada bus atau wilayah tertentu, maka CB terdekat akan memutuskan gangguan sekitar 0.2-0.3 *second*, namun waktu tersebut belum mampu menjamin kestabilan suatu sistem karena waktu pembukaan CB harus kurang dari waktu CCT nya. CCT ini digunakan untuk rekomendasi *setting waktu* CB yang terdekat dengan generator. Jadi ketika terjadi suatu gangguan transien berupa *generator outage* atau hubung singkat, maka generator akan dapat dikatakan stabil jika CB bekerja dibawah nilai CCT generator tersebut. Namun apabila CB bekerja diatas nilai CCT generator, maka generator akan mengalami ketidakstabilan yang dapat mengakibatkan semakin luasnya wilayah pemadaman hingga *blackout* total.

### BAB III

## PEMODELAN SISTEM

Pada tugas akhir ini parameter terakhir yang didapat adalah nilai CCT. Untuk mendapatkan nilai CCT tersebut diperlukan beberapa langkah yang akan menjadi alur dalam perhitungan nilai CCT. Gambar 3.1 berikut adalah *flowchart* dari metode *Time Domain Simulation* :



**Gambar 3.1** *Flowchart* Metode *Time Domain Simulation*

### 3.1 Perhitungan Aliran Daya (*Power Flow*)

Dalam alur perhitungan CCT, perhitungan aliran daya merupakan langkah awal. Dalam proses perhitungan aliran daya ini, akan dilakukan pembacaan data pada sistem IEEE sehingga akan dapat dilakukan pemilahan-pemilahan data sesuai dengan nama data yang ditentukan seperti pengelompokan bus generator, bus beban dan bus *slack* serta dilakukan pembentukan matriks  $Y_{Bus}$ .

$$Y_{bus} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \dots & Y_{1n} \\ Y_{21} & Y_{22} & \dots & Y_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Y_{n1} & Y_{n2} & \dots & Y_{nn} \end{bmatrix} \quad (3.1.1)$$

Setelah dilakukan pembacaan data maka akan dilakukan perhitungan. Tujuan utama dari sebuah perhitungan aliran daya adalah untuk menemukan daya aktif dan daya reaktif yang mengalir disetiap saluran dengan magnitudo dan sudut fasa tegangan pada setiap bus dari sebuah sistem dengan kondisi pembebanan spesifik.

Untuk melakukan analisa aliran daya dengan menggunakan metode *forward-backward sweep* pada jaringan radial, jaringan radial tersebut direpresentasikan seperti pohon dengan bus pertama sebagai akar atau *slack* bus dan bus lain sebagai percabangannya. Metode *forward-backward sweep* ini menggunakan prinsip hukum Kirchoff untuk perhitungan arus di setiap salurannya, langkah kerja metode *forward-backward sweep* yang pertama adalah *forward sweep* dengan mengasumsikan tegangan pada bus beban terjauh adalah bernilai sama dengan tegangan bus pertama, kemudian menghitung arus yang mengalir pada saluran tersebut. Hal tersebut dilakukan hingga bus pertama. Jika terdapat *error* yang melebihi nilai toleransi yang diinginkan maka nilai tegangan tiap bus belum berada pada nilai yang sesungguhnya kemudian dilakukan langkah yang kedua yaitu *backward sweep* untuk menghitung nilai tegangan pada bus dengan data-data yang didapatkan pada *forward sweep* hingga didapatkan nilai tegangan yang memiliki *error* sesuai dengan nilai toleransi.

Untuk menghitung arus cabang didapatkan dari hubungan daya kompleks dan tegangan pada setiap bus seperti persamaan 3.1.2 dibawah ini :



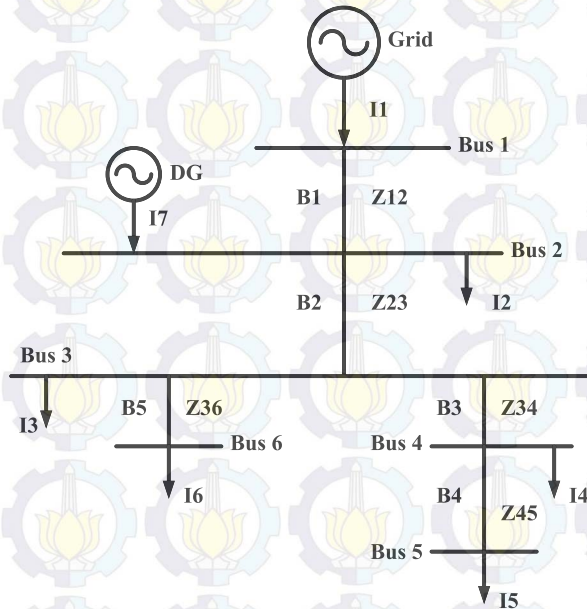
$$i_i^k = \text{conj}\left(\frac{P_i + Q_i}{V_i^k}\right) \quad (3.1.2)$$

Dimana :

$i_i^k$  = Arus yang mengalir pada bus-i pada saat iterasi ke-k  
 $V_i^k$  = Tegangan pada bus-i pada saat iterasi ke-k

### 3.1.1 Metode *Forward-Backward Sweep*

Sebelum mengimplementasikan metode *forward-backward sweep* diperlukan modifikasi perhitungan untuk memudahkan dalam membentuk persamaan dan proses iterasi salah satunya adalah dengan menggunakan metode *network topology*.



**Gambar 3.2** *Single Line Diagram* Contoh Analisis Menggunakan Metode *Network Topology*

Sebuah sistem jaringan sederhana seperti gambar 3.2 dengan model jaringan radial yang disuplai oleh *grid* dan sebuah *distributed*

*generation* dengan menyuplai beban yang tersebar pada jalur tertentu. Dari gambar diatas didapatkan persamaan arus yang mengalir pada setiap bus sebagai berikut :

$$B_5 = I_6 \quad (3.1.3)$$

$$B_4 = I_5 \quad (3.1.4)$$

$$B_3 = I_4 + I_5 \quad (3.1.5)$$

$$B_2 = I_3 + I_4 + I_5 + I_6 \quad (3.1.6)$$

$$B_1 = I_2 + I_3 + I_4 + I_5 + I_6 - I_7 \quad (3.1.7)$$

Persamaan arus yang mengalir pada setiap bus diatas dapat diringkas dan dituliskan dalam sebuah matrik sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \\ B_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \\ I_6 \\ I_7 \end{bmatrix} \quad (3.1.8)$$

Persamaan matrik diatas dapat dirumuskan menjadi model persamaan dengan komponen matrik BIBC (*Bus Injection to Branch Current*).

$$[B] = [BIBC][I] \quad (3.1.9)$$

Maka drop tegangan dapat dihitung menjadi sebagai berikut :

$$V_1 - V_2 = B_1 \cdot Z_{12} \quad (3.1.10)$$

$$V_1 - V_3 = B_1 \cdot Z_{12} + B_2 \cdot Z_{23} \quad (3.1.11)$$

$$V_1 - V_4 = B_1 \cdot Z_{12} + B_2 \cdot Z_{23} + B_3 \cdot Z_{34} \quad (3.1.12)$$

$$V_1 - V_5 = B_1 \cdot Z_{12} + B_2 \cdot Z_{23} + B_3 \cdot Z_{34} + B_4 \cdot Z_{45} \quad (3.1.13)$$

$$V_1 - V_6 = B_1 \cdot Z_{12} + B_2 \cdot Z_{23} + B_5 \cdot Z_{36} \quad (3.1.14)$$

$$V_1 - V_7 = B_1 \cdot Z_{12} \quad (3.1.15)$$

Dari persamaan di atas dapat dibentuk dan diselesaikan menggunakan suatu bentuk matrik dengan komponen matrik BCBV (*Branch Current to Branch Voltage*).

$$\begin{bmatrix} V_1 - V_2 \\ V_1 - V_3 \\ V_1 - V_4 \\ V_1 - V_5 \\ V_1 - V_6 \\ V_1 - V_7 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & Z_{36} & 0 \\ Z_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \\ B_6 \end{bmatrix} \quad (3.1.16)$$

Kemudian dilakukan penyederhanaan menjadi berikut :

$$[\Delta V] = [BCBV][B] \quad (3.1.17)$$

Sehingga, untuk mendapatkan nilai  $\Delta V$  didapatkan persamaan akhir sebagai berikut :

$$[\Delta V] = [BCBV][BIBC][I] \quad (3.1.18)$$

$$[\Delta V] = [DLF][I] \quad (3.1.19)$$

Kemudian setelah kita mendapatkan matrik BIBC, BCBV dan  $\Delta V$  kita dapat menghitung nilai tegangan pada setiap bus dengan persamaan sebagai berikut :

$$[V_i] = [V_i] - [\Delta V] \quad (3.1.20)$$

Metode K-matrik merupakan metode pembentukan matrik impedansi dengan melakukan penelusuran alur/*path* saluran distribusi. Jalur saluran distribusi direpresentasikan dalam sebuah matrik yang menunjukkan arah arus injeksi dari suatu bus ke bus yang lain. Untuk membentuk K-matrik digunakan aturan penelusuran jalur.

- $kij = 1$ , jika cabang  $i$  berada pada jalur antara bus  $j$  dan bus referensi dan memiliki arah yang sama
- $kij = -1$ , jika cabang  $i$  berada pada jalur antara bus  $j$  dan bus referensi dan memiliki arah yang berlawanan
- $kij = 0$ , jika cabang  $i$  tidak berada pada jalur antara bus  $j$  dan bus referensi

Hubungan antara matrik BIBC dengan K-Matrik adalah sebagai berikut :

$$[BIBC] = -[K - \text{Matrik}] \quad (3.1.21)$$

Elemen-elemen pembentuk K-Matrik adalah :

- elemen baris adalah nomor cabang
- elemen kolom adalah nomor bus (tidak termasuk bus referensi)

Maka untuk contoh single line diagram pada gambar 3.2, K-Matrik-nya adalah

$$K = \begin{matrix} B1 \\ B2 \\ B3 \\ B4 \\ B5 \\ B6 \end{matrix} \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 \\ 0 & -1 & -1 & -1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \quad (3.1.22)$$

Pada contoh sebelumnya, dapat disimpulkan persamaan menghitung drop tegangan.

$$[\Delta V] = [BCBV][BIBC][I] \quad (3.1.23)$$

$$\begin{bmatrix} V_1 - V_2 \\ V_1 - V_3 \\ V_1 - V_4 \\ V_1 - V_5 \\ V_1 - V_6 \\ V_1 - V_7 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & Z_{36} & 0 \\ Z_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \\ I_6 \\ I_7 \end{bmatrix} \quad (3.1.24)$$

Sedangkan bila matrik BIBC kita transpose komposisinya maka akan terbentuk matrik yang berkorelasi dengan matrik BCBV.

$$BIBC' = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \quad (3.1.25)$$

Apabila matrik BIBC' dikalikan per komponen (perkalian dot) dengan matrik impedansi *full branch*, maka akan didapatkan matrik BCBV.



$$BCBV = -[K - \text{Matrik}]' * [\text{Impedansi Saluran}] \quad (3.1.26)$$

$$BCBV = - \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & Z_{36} & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & Z_{36} & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & Z_{36} & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & Z_{36} & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & Z_{36} & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & Z_{36} & 0 \end{bmatrix} \quad (3.1.27)$$

Sehingga, untuk metode K-matrik dapat disimpulkan formula mencari drop tegangan di tiap saluran.

$$[\Delta V] = -[K - \text{Matrik}]' * [\text{Impedansi Saluran}] * -[K - \text{Matrik}] * [I] \quad (3.1.28)$$

Pada bus yang terpasang *distributed generation* digunakan mode operasi PV bus yang berfungsi untuk menjaga tegangan pada bus tersebut. Penjagaan tegangan dilakukan dengan cara penambahan atau pengurangan nilai Q(MVAR) hingga tegangan bernilai 1 pu. Penambahan atau pengurangan nilai Q(MVAR) dilakukan dengan menambah atau mengurangi nilai Q(MVAR) setengah dari nilai Q(MVAR) awal hingga mencapai nilai Qmaks yang telah ditentukan. Jika nilai tegangan pada bus sudah bernilai 1 pu maka nilai Q(MVAR) terakhir tersebut yang akan digunakan, namun jika nilai Q(MVAR) sudah mencapai nilai Qmaks dan tegangan pada bus belum bernilai 1 pu maka nilai Qmaks & tegangan terakhir yang digunakan.

### 3.2 Reduksi Jaringan

Reduksi jaringan adalah suatu proses algoritma yang bertujuan untuk menyederhanakan persamaan matrik  $Y_{bus}$  menjadi sebuah matrik jaringan ekuivalen yang berisi bus-bus yang terhubung dengan beban maupun generator. Semua bus selain bus yang terhubung dengan beban dan generator akan dieleminasi karena pada bus tersebut nilai arus akan selalu bernilai nol karena arus yang masuk sama dengan arus yang keluar, bus ini biasanya disebut dengan bus pasif. Sebagai contoh :

$$\begin{bmatrix} 0 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & Y_{13} & Y_{14} \\ Y_{21} & Y_{22} & Y_{23} & Y_{24} \\ Y_{31} & Y_{32} & Y_{33} & Y_{34} \\ Y_{41} & Y_{42} & Y_{43} & Y_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \end{bmatrix} \quad (3.2.1)$$

Sistem diatas akan menjadi sistem 3 x 3 setelah dilakukan reduksi jaringan

$$\begin{bmatrix} I_2 \\ I_3 \\ I_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{22}^{(1)} & Y_{23}^{(1)} & Y_{24}^{(1)} \\ Y_{32}^{(1)} & Y_{33}^{(1)} & Y_{34}^{(1)} \\ Y_{42}^{(1)} & Y_{43}^{(1)} & Y_{44}^{(1)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_2 \\ V_3 \\ V_4 \end{bmatrix} \quad (3.2.2)$$

Dari contoh diatas dapat dilihat bahwa bus atau *node* dengan injeksi nilai arus sama dengan nol dieleminasi, hal ini yang disebut dengan reduksi Kron atau juga dapat disebut dengan eleminasi *node*.

Sebagai contoh jika  $I_i = 0$  (bus- $i$  adalah bus pasif) pada  $n$ -bus sistem, kita langsung dapat menghitung sebuah matrik jaringan ekuivalen baru dengan mereduksi matrik  $Y_{bus}$  dengan memilih  $Y_{ii}$  sebagai poros dengan mengeleminasi bus  $i$  menggunakan persamaan :

$$Y_{jk}^{(new)} = Y_{jk} - \frac{Y_{ji} Y_{ik}}{Y_{ii}} \quad (3.2.3)$$

Dimana  $j$  dan  $k$  adalah bilangan *integer* dari 1 hingga  $n$  (jumlah bus sistem) kecuali  $i$ , karena kolom dan baris sudah dieleminasi. Sehingga nilai  $Y_{jk}^{(new)}$  membedakan elemen pada matrik jaringan ekuivalen baru dari segi dimensi dan nilai komponen-komponennya dengan matrik  $Y_{bus}$ . Dimensi dari matrik jaringan ekuivalen tersebut adalah  $(n \times n)$  dimana  $n$  adalah jumlah dari generator.

### 3.3 Persamaan Ayunan (*Swing Equation*)

Untuk melakukan perhitungan CCT, sudut rotor adalah faktor yang diperhitungkan sehingga untuk merepresentasikan gerakan pada rotor diperlukan suatu pemodelan matematis yaitu sebuah persamaan ayunan seperti dibawah ini

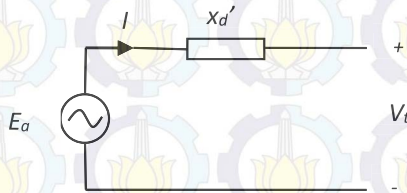
$$M\dot{\omega} = P_m - P_e(\delta) \quad (3.3.1)$$

dimana :

$$\begin{aligned} \dot{\omega} &= \frac{d\omega}{dt} \\ M &= \text{Momen inersia} \end{aligned}$$

- $\omega$  = Kecepatan rotor generator  
 $P_m$  = Daya mekanis  
 $P_e$  = Daya listrik  
 $\delta$  = Deviasi sudut rotor generator

Untuk mendapatkan nilai  $P_m$ , kita dapat membuat pemodelan generator seperti gambar 3.3 dibawah ini:



**Gambar 3.3** Pemodelan Generator.

dari pemodelan generator diatas dapat ditulis dengan persamaan:

$$E_a = jx'_d \cdot I + V_t \quad (3.3.2)$$

dimana :

- $E_a$  = Tegangan jangkar generator  
 $X'_d$  = Reaktansi sinkron transien  
 $V_t$  = Tegangan terminal generator

$$I = \frac{S}{V} \quad (3.3.3)$$

$$S = P + jQ \quad (3.3.4)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (3.3.3) kedalam persamaan (3.3.2) maka didapatkan persamaan:

$$E_a = V_t + jx'_d \cdot \frac{S}{V} \quad (3.3.5)$$

Dengan demikian daya mekanis dari generator dapat dicari dengan persamaan:

$$P_m = E_a \cdot Y_{red\_pre} \cdot E_a \quad (3.3.6)$$

Untuk daya elektris ( $P_e$ ) dapat dicari dengan persamaan:

$$P_e = v \cdot (Y_{red\_post} \cdot v)^* \quad (3.3.7)$$

dimana  $v$  adalah tegangan bus setelah gangguan dan dapat dicari dari persamaan (3.3.8)

$$v = E_a^{j\theta} \quad (3.3.8)$$

dan  $\theta$  merupakan hasil iterasi yang inisial awalnya adalah  $\theta_{coi}$

$$\theta_{coi} = \delta_i - \delta_0 \quad (3.3.9)$$

dimana  $\delta_i$  merupakan sudut rotor generator, sedangkan  $\delta_0$  merupakan jumlah momen inersia dan sudut rotor generator kemudian dibagi dengan jumlah total momen inersia.

$$\delta_0 = \frac{1}{M_T} \sum_{i=1}^n M_i \delta_i \quad (3.3.10)$$

Dengan menggunakan persamaan (3.3.1) dari pemodelan sistem diatas maka akan diperlukan referensi yang berbeda-beda, oleh karena itu perlu ditransformasikan kedalam persamaan *center of angel (coa)* / *center of inertia (coi)* dimana:

$$P_{coi} = \sum_{i=1}^n P_{mi} - P_{ei} \quad (3.3.11)$$

Sehingga persamaan ayunan menjadi:

$$M_i \dot{\omega}_i = P_{mi} - P_{ei}(\theta) - \frac{M_i}{M_t} P_{coi} - D_i \omega_i \quad (3.3.12)$$

dimana:

$$\begin{aligned} P_{mi} &= \text{Daya mekanis} \\ P_{ei} &= \text{Daya elektris} \end{aligned}$$



$M_i$	= Momen inersia
$M_T$	= Total momen inersia
$\omega_i$	= Kecepatan rotor generator
$D_i$	= Koefisien peredam
$\theta$	= Deviasi sudut rotor generator

### 3.4 Metode *Runge-Kutta* Orde 4

Metode *Runge-Kutta* orde empat telah banyak digunakan dalam perhitungan persamaan diferensial pada analisa kestabilan transien, persamaan diferensial yang dimaksud disini adalah persamaan ayunan atau *swing equation*. Metode *Runge-Kutta* orde empat merupakan alternatif lain dari metode deret Taylor yang tidak membutuhkan perhitungan turunan. Metode ini berusaha mendapat derajat ketelitian yang lebih tinggi, dan sekaligus menghindarkan keperluan mencari turunan yang lebih tinggi dengan jalan mengevaluasi fungsi  $f(x,y)$  pada titik terpilih dalam setiap selang langkah.

Secara umum metode *Runge-Kutta* orde empat dengan step  $(n+1)$  memiliki persamaan :

$$x_{n+1} = x_n + \frac{1}{6}(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4) \quad (3.4.1)$$

Dimana :

$$k_1 = f(x_n, t_n) \Delta t \quad (3.4.2)$$

$$k_2 = f\left(x_n + \frac{k_1}{2}, t_n + \frac{\Delta t}{2}\right) \Delta t \quad (3.4.3)$$

$$k_3 = f\left(x_n + \frac{k_2}{2}, t_n + \frac{\Delta t}{2}\right) \Delta t \quad (3.4.4)$$

$$k_4 = f(x_n + k_3, t_n + \Delta t) \Delta t \quad (3.4.5)$$

Perubahan pada metode *Runge-Kutta* orde empat ini dilakukan pada perhitungan seluruh konstanta yang ada, konstanta perubahan dilakukan dengan memperhitungkan turunan pertama fungsi dan juga nilai turunan kedua fungsi, dilakukan juga metode *Runge-Kutta* orde empat terhadap turunan pertama dari fungsi.



## **BAB IV**

### **SIMULASI DAN ANALISIS DATA**

Pada bab keempat ini, akan dilakukan simulasi pada *plant*/sistem dengan multi mesin/multi generator. Simulasi akan dilakukan pada *plant* IEEE 34 Bus radial dengan penambahan pembangkitan terdistribusi. Dari simulasi ini akan didapatkan nilai CCT diantara waktu pemutusan stabil dan waktu pemutusan tidak stabilnya. Simulasi yang dilakukan dibatasi menggunakan beban statis.

Spesifikasi dari sebuah perangkat komputer yang digunakan dalam proses simulasi sangat berpengaruh pada kecepatan proses perhitungan simulasinya. Oleh karena itu berikut akan ditunjukkan spesifikasi dari komputer yang digunakan :

- |                             |  |
|-----------------------------|--|
| 1. <i>System Manufactur</i> | : Hewlett-Packard                                  |
| 2. <i>System Model</i>      | : Compaq Presario CQ41 Notebook PC                 |
| 3. <i>Rating</i>            | : 4,0  |
| 4. <i>Processor</i>         | : Intel(R) Core(TM) i3 CPU M 330 @ 2.13GHz 2.13GHz |
| 5. <i>Installed Memory</i>  | : 2,00 GB (1,87 GB usable)                         |
| 6. <i>Operating System</i>  | : Windows 7 Home Basic 32-bit                      |
| 7. <i>Product ID</i>        | : 00346-OEM-8992752-50008                          |

#### **4.1 Sistem IEEE 34 Bus**

Metode *Time Domain Simulation* yang digunakan pada tugas akhir ini akan diuji pada Sistem IEEE 34 Bus Radial yang menggunakan frekuensi 50Hz, dan tegangan *base* 20KV dengan penambahan 3 pembangkitan terdistribusi (DG) yang dipasangkan pada bus 8, 26 dan 28



**Tabel 4.1** Data Saluran Sistem

28



**Tabel 4.1** Lanjutan Tabel Data Saluran Sistem

No Line	Dari Bus	Menuju Bus	R	X	Half Line Charging Susceptance
10	10	11	25,524	13,544	0
11	11	12	7,2851	3,8657	0
12	9	13	3,7321	2,7294	0
13	13	14	0,307	0,2246	0
14	13	15	1,6062	0,8525	0
15	15	16	7,4714	5,5642	0
16	16	17	0,1901	0,139	0
17	17	18	12,368	6,5638	0
18	17	19	13,462	9,8548	0
19	19	20	0,0037	0,0027	0
20	20	21	1,7911	1,3099	0
21	21	22	0,8588	0,4558	0
22	20	23	0,053	0,026	0
23	23	24	2,6736	2,668	0
24	21	25	2,131	1,5585	0
25	25	26	0,1023	0,0749	0
26	26	27	0,4935	0,3609	0
27	27	28	1,3305	0,9731	0
28	28	29	0,1937	0,1417	0
29	25	30	0,7384	0,54	0
30	30	31	0,9796	0,7164	0
31	31	32	0,3144	0,2299	0
32	31	33	0,1023	0,0749	0
33	33	34	1,7688	1,3082	0

**Tabel 4.2** Data Bus IEEE 34 Bus

No. Bus	P Generator (MW)	Q Generator (MW)	P Load (MW)	Q load (MW)
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	0	0	0	0
7	0	0	0	0
8	0,029	0	0	0
9	0	0	0	0
10	0	0	0	0
11	0	0	0	0
12	0	0	0	0
13	0	0	0	0
14	0	0	0	0
15	0	0	0	0
16	0	0	0,01	0,005
17	0	0	0	0
18	0	0	0	0
19	0	0	0	0
20	0	0	0	0
21	0	0	0	0
22	0	0	0	0
23	0	0	0	0
24	0	0	0,15	0,075

**Tabel 4.2** Lanjutan Tabel Data Bus IEEE 34 Bus

No. Bus	P Generator (MW)	Q Generator (MW)	P Load (MW)	Q load (MW)
25	0	0	0	0
26	0,267	0	0	0
27	0	0	0,135	0,105
28	0,049	0	0	0
29	0	0	0,02	0,016
30	0	0	0,02	0,016
31	0	0	0	0
32	0	0	0,009	0,007
33	0	0	0	0
34	0	0	0	0

Dari Gambar 4.1 telah ditentukan letak gangguan-gangguan yang terjadi pada sistem, yaitu pada masing-masing titik pada saluran dengan kode A-H. Gangguan diasumsikan terjadi di 8 titik saluran tersebut :

- A : titik gangguan antara bus 9 dan bus 8
- B : titik gangguan antara bus 2 dan bus 1
- C : titik gangguan antara bus 26 dan bus 27
- D : titik gangguan antara bus 16 dan bus 17
- E : titik gangguan antara bus 21 dan bus 25
- F : titik gangguan antara bus 3 dan bus 4
- G : titik gangguan antara bus 20 dan bus 21
- H : titik gangguan antara bus 20 dan bus 23

#### 4.2 Perhitungan CCT pada sistem IEEE 34 Bus

Sistem yang digunakan dalam perhitungan CCT menggunakan sistem IEEE 34 Bus yang dapat dilihat pada gambar 4.1 dengan *damping* dan dengan adanya pembangkitan terdistribusi (DG). Titik

gangguan telah dipilih secara acak, pada simulasi ini dicoba pada 8 titik gangguan yang berbeda-beda. Berikut adalah hasil CCT yang didapat dari hasil simulasi dengan menggunakan metode *Time Domain Simulation*.

**Tabel 4.3** Hasil CCT Sistem IEEE 34 Bus

<b>SISTEM IEEE 34 BUS</b>			
<b>Titik Gangguan</b>	<b>Open Line</b>	<b>CCT</b>	<b>Waktu Simulasi</b>
A	9-8	0,239-0,240	27,7009
B	2-1	0,924-0,925	22,7222
C	26-27	0,367-0,368	26,3491
D	16-17	1,729-1,730	23,7335
E	21-25	0,583-0,584	28,9455
F	3-4	1,350-1,351	27,6611
G	20-21	0,940-0,941	30,2828
H	20-23	0,932-0,933	27,8603
<b>Rata-rata</b>			26,906925

Tabel 4.3 menunjukkan nilai CCT yang diperoleh dari metode *Time Domain Simulation*, metode *Time Domain Simulation* merupakan *undirect-method* sehingga dapat dilihat dari tabel 4.3 diatas nilai CCT bukan merupakan satu nilai CCT melainkan berupa range nilai. Range nilai tersebut merupakan waktu pemutusan stabil dan waktu pemutusan tidak stabilnya.

### 4.3 Analisa Grafik Karakteristik Sistem IEEE 34 bus dengan Adanya Penambahan Pembangkitan Terdistribusi

Dengan cara *trial* dan *error* maka didapatkan waktu stabil dan waktu tidak stabil sehingga CCT yang didapatkan berada pada *range* waktu stabil dan waktu tidak stabilnya. Grafik yang ditampilkan dibatasi grafik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) terhadap sudut rotor ( $\delta$ ), grafik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) terhadap waktu (*sec*), grafik sudut rotor ( $\delta$ )



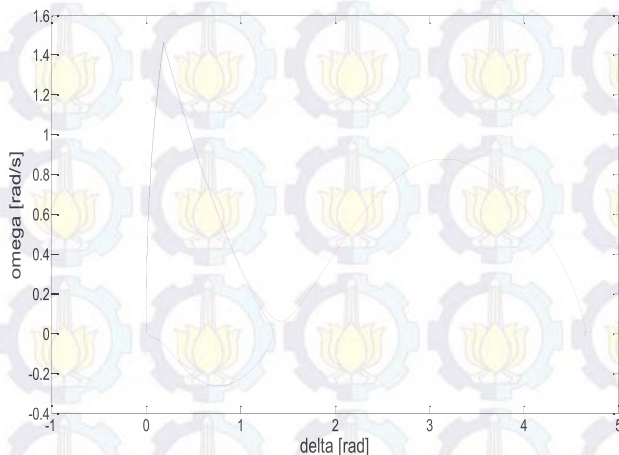
terhadap waktu (*sec*). Pada karakteristik grafik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) terhadap sudut rotor ( $\delta$ ) yang disajikan, terdapat dua warna kurva yang digunakan untuk *plotting*. Warna pada kedua kurva tersebut dapat dijelaskan:

- Merah : kurva pada kondisi tidak stabil dari hasil simulasi
- Biru : kurva pada kondisi stabil dari hasil simulasi
- 

Maka hasil simulasi dengan menggunakan metode *Time Domain Simulation* pada setiap titik gangguan yang berbeda pada sistem adalah sebagai berikut :

#### a. Titik Gangguan A

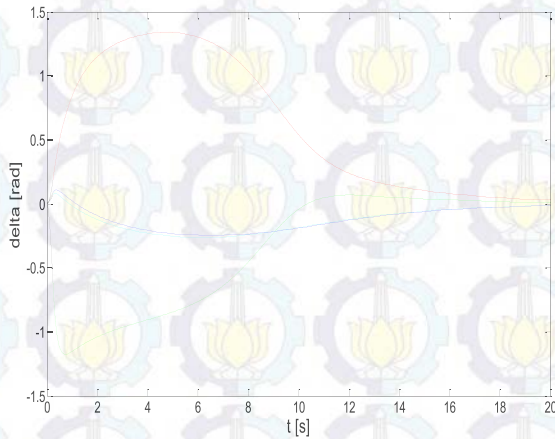
Nilai CCT yang diperoleh dari metode TDS adalah *range* antara (0,239 – 0,240) *sec*.



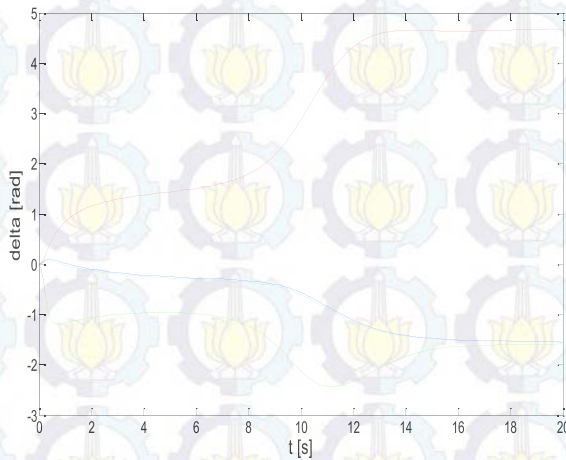
**Gambar 4.2** Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) dalam *rad/s* terhadap sudut rotor ( $\delta$ ) dalam *rad* pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat mengalami gangguan di titik A

Dapat dilihat dari gambar 4.2 diatas bahwa saat gangguan diputus pada waktu 0,239 S atau waktu stabilnya maka generator akan stabil dan kembali ke keadaan semula yang ditunjukkan dengan kurva berwarna biru. Sedangkan saat gangguan diputus pada waktu 0,240 S

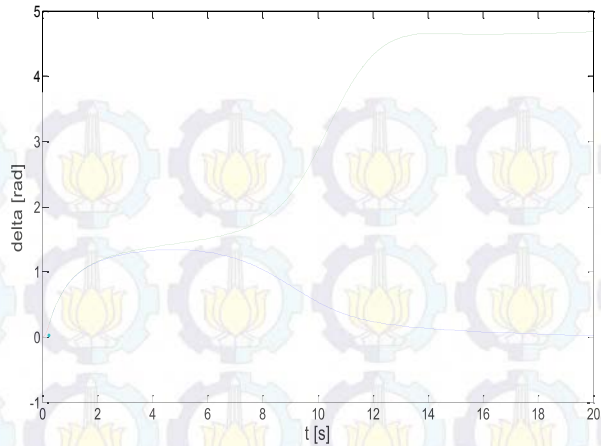
atau waktu tidak stabilnya maka generator akan kehilangan sinkronisasinya yang ditunjukkan dengan kurva berwarna merah.



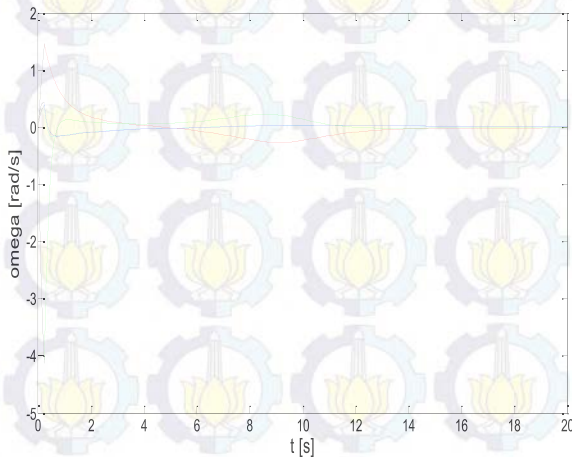
**Gambar 4.3.** Grafik karakteristik sudut rotor ( $\delta$ ) stabil dalam *rad* terhadap waktu (*s*) pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat gangguan terjadi di titik A



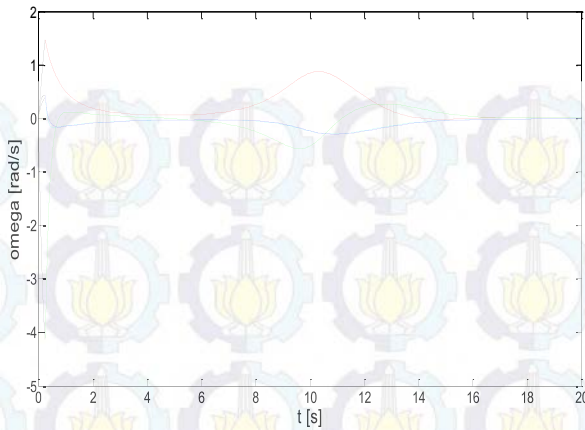
**Gambar 4.4.** Grafik karakteristik sudut rotor ( $\delta$ ) tidak stabil dalam *rad* terhadap waktu (*s*) pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat gangguan terjadi di titik A



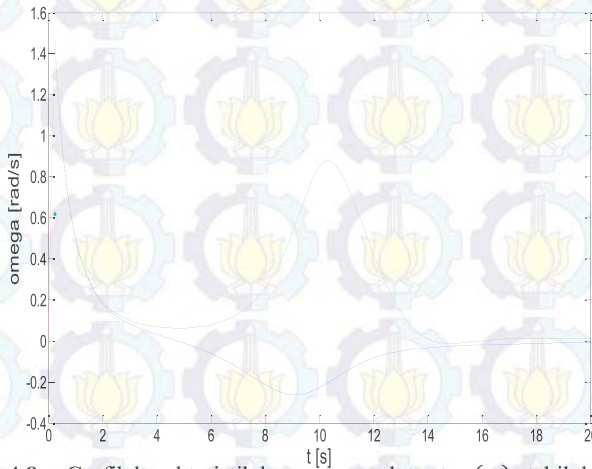
**Gambar 4.5.** Grafik karakteristik sudut rotor ( $\delta$ ) stabil dan tidak stabil dalam rad terhadap waktu (s) pada sistem IEEE 34 bus dengan damping saat gangguan terjadi di titik A



**Gambar 4.6.** Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) stabil dalam rad/s terhadap waktu (s) pada sistem IEEE 34 bus dengan damping saat gangguan terjadi di titik A



**Gambar 4.7.** Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) tidak stabil dalam  $rad/s$  terhadap waktu ( $s$ ) pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat gangguan terjadi di titik A

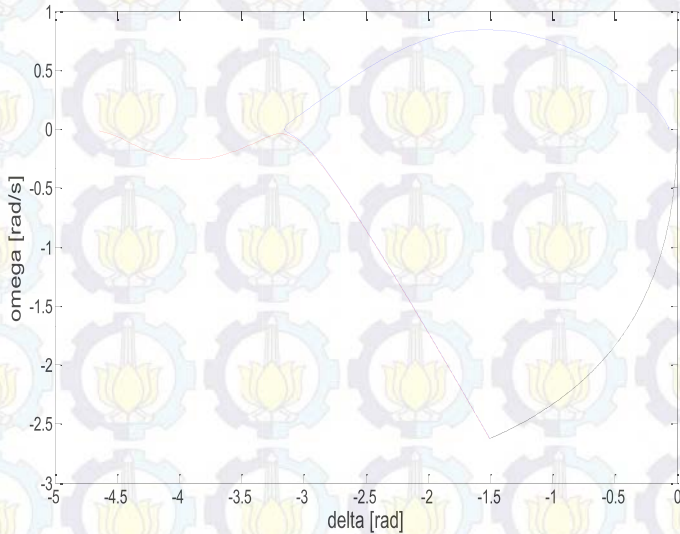


**Gambar 4.8.** Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) stabil dan tidak stabil dalam  $rad/s$  terhadap waktu ( $s$ ) pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat gangguan terjadi di titik A



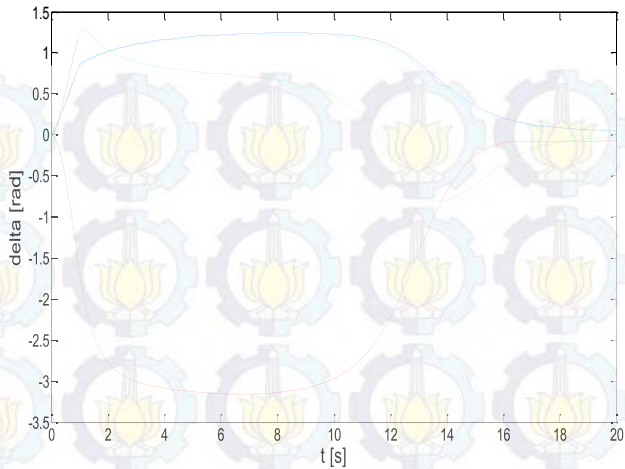
## b. Titik Gangguan B

Nilai CCT yang diperoleh dari metode TDS adalah *range* antara  $(0.924 - 0.925)$  sec.

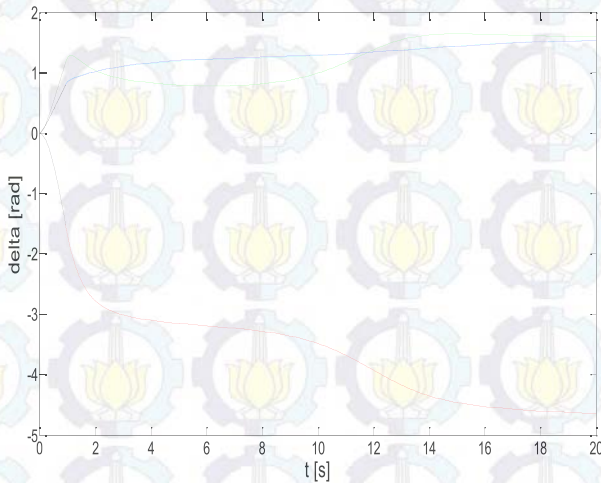


**Gambar 4.9** Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) dalam *rad/s* terhadap sudut rotor ( $\delta$ ) dalam *rad* pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat mengalami gangguan di titik B

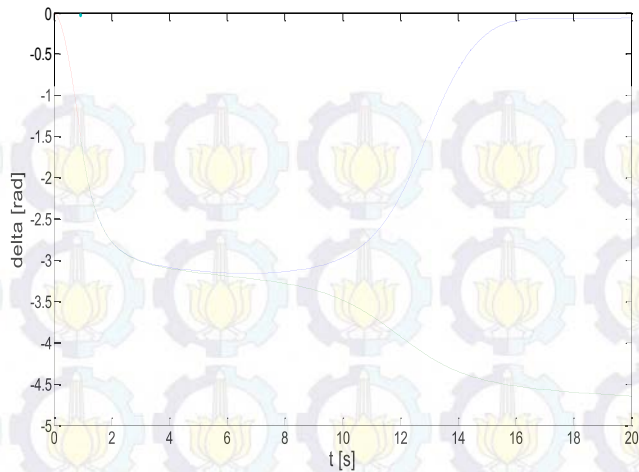
Dapat dilihat dari gambar 4.5 diatas bahwa saat gangguan diputus pada waktu 0,924 S atau waktu stabilnya maka generator akan stabil dan kembali ke keadaan semula yang ditunjukkan dengan kurva berwarna biru. Sedangkan saat gangguan diputus pada waktu 0,925 S atau waktu tidak stabilnya maka generator akan kehilangan sinkronisasinya yang ditunjukkan dengan kurva berwarna merah.



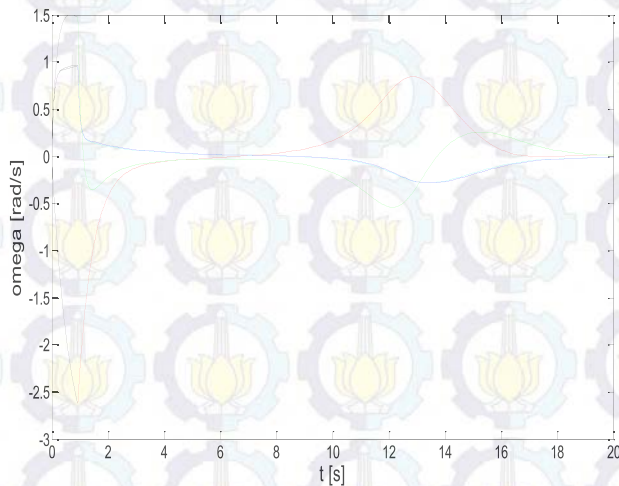
**Gambar 4.10** Grafik karakteristik sudut rotor ( $\delta$ ) stabil dalam *rad* terhadap waktu (*s*) pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat gangguan terjadi di titik B



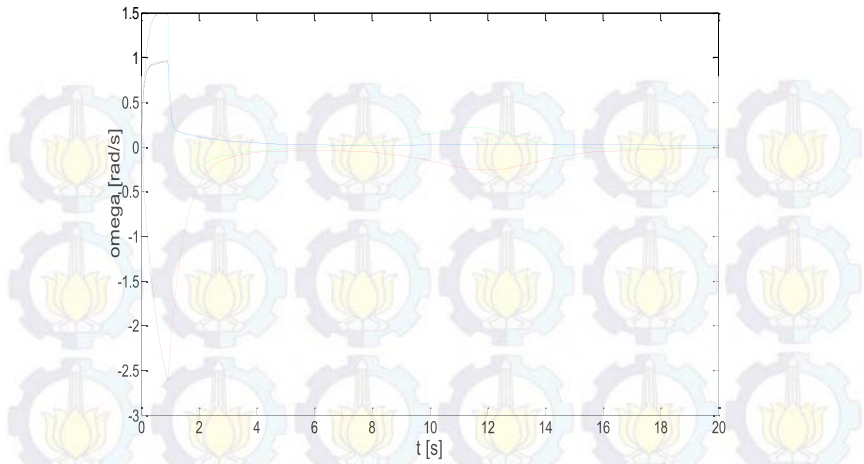
**Gambar 4.11** Grafik karakteristik sudut rotor ( $\delta$ ) tidak stabil dalam *rad* terhadap waktu (*s*) pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat gangguan terjadi di titik B



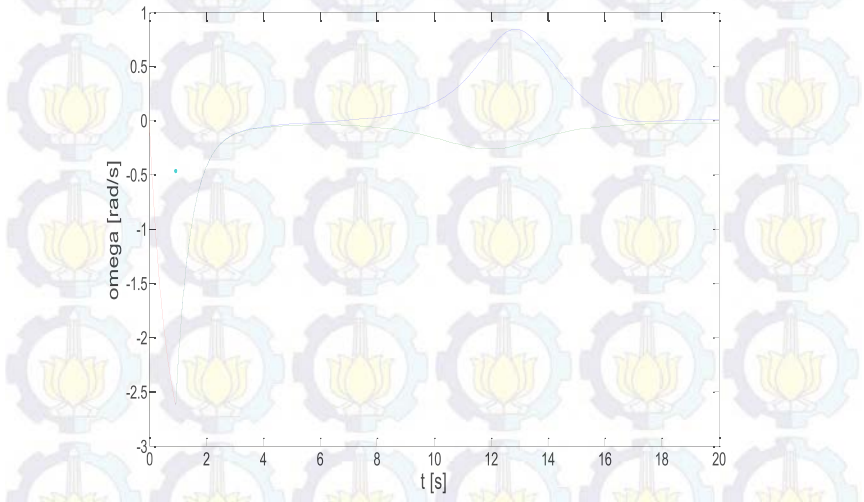
**Gambar 4.12** Grafik karakteristik sudut rotor ( $\delta$ ) stabil dan tidak stabil dalam rad terhadap waktu (s) pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat gangguan terjadi di titik B



**Gambar 4.13** Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) stabil dalam rad/s terhadap waktu (s) pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat gangguan terjadi di titik B



**Gambar 4.14** Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) tidak stabil dalam  $\text{rad/s}$  terhadap waktu ( $s$ ) pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat gangguan terjadi di titik B

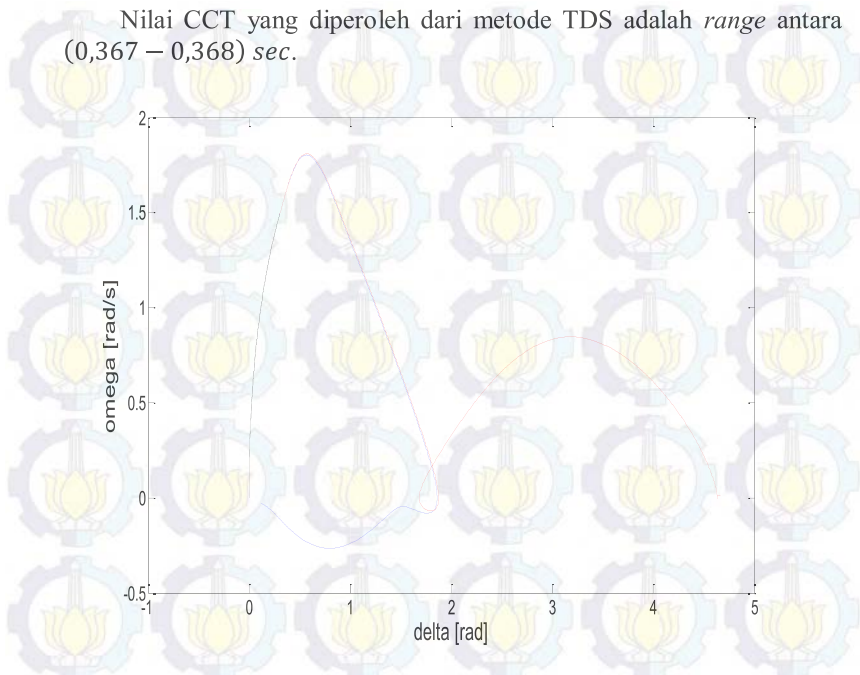


**Gambar 4.15** Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) stabil dan tidak stabil dalam  $\text{rad/s}$  terhadap waktu ( $s$ ) pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat gangguan terjadi di titik B



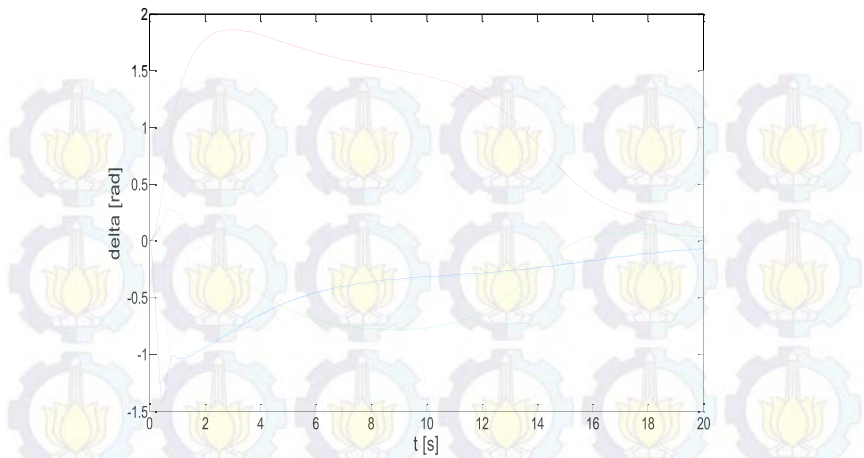
### c. Titik Gangguan C

Nilai CCT yang diperoleh dari metode TDS adalah *range* antara  $(0,367 - 0,368) \text{ sec}$ .

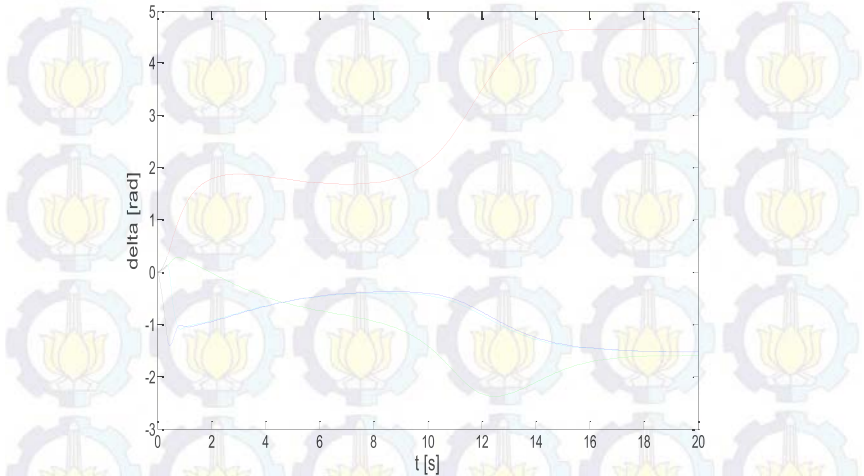


**Gambar 4.16** Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) dalam *rad/s* terhadap sudut rotor ( $\delta$ ) dalam *rad* pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat mengalami gangguan di titik C

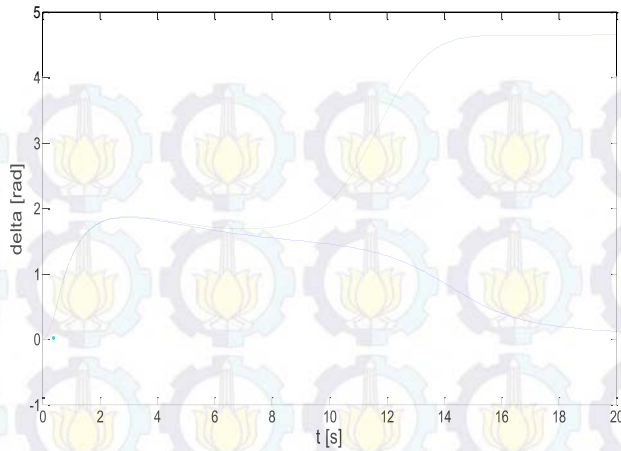
Dapat dilihat dari gambar 4.8 diatas bahwa saat gangguan diputus pada waktu 0,367 S atau waktu stabilnya maka generator akan stabil dan kembali ke keadaan semula yang ditunjukkan dengan kurva berwarna biru. Sedangkan saat gangguan diputus pada waktu 0,368 S atau waktu tidak stabilnya maka generator akan kehilangan sinkronisasinya yang ditunjukkan dengan kurva berwarna merah.



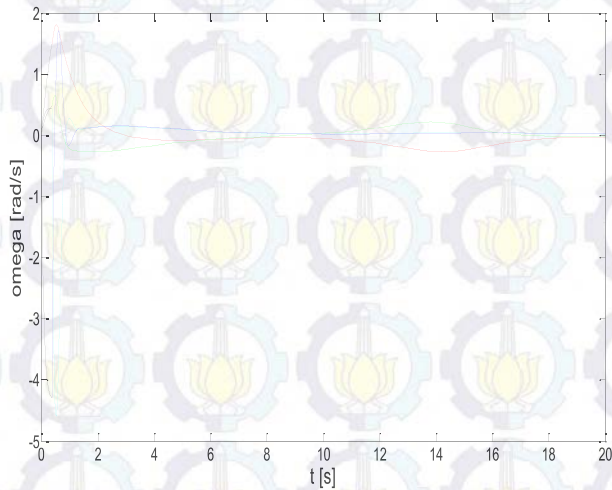
**Gambar 4.17** Grafik karakteristik sudut rotor ( $\delta$ ) stabil dalam *rad* terhadap waktu (*s*) pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat gangguan terjadi di titik C



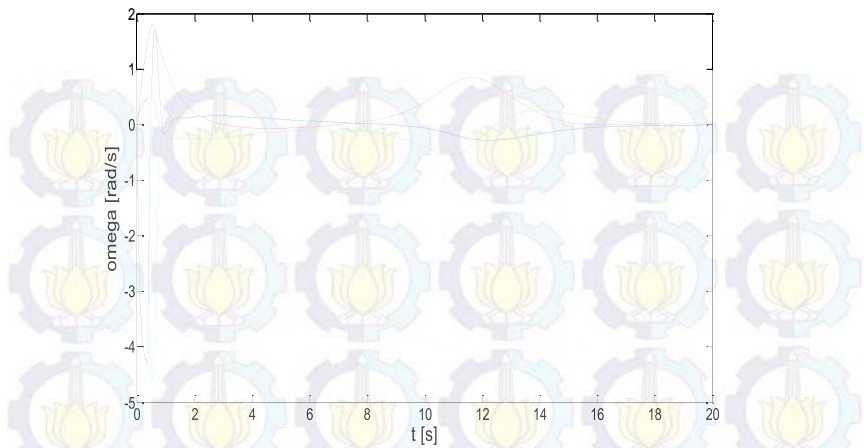
**Gambar 4.18** Grafik karakteristik sudut rotor ( $\delta$ ) tidak stabil dalam *rad* terhadap waktu (*s*) pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat gangguan terjadi di titik C



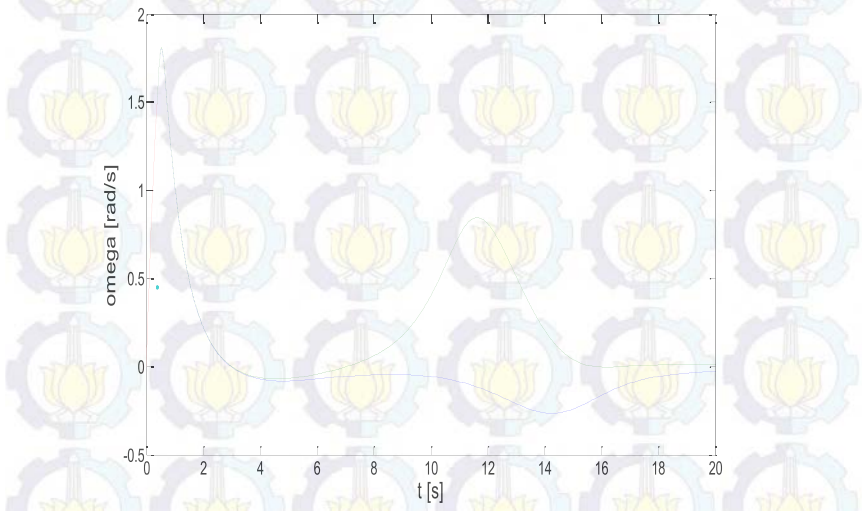
**Gambar 4.19** Grafik karakteristik sudut rotor ( $\delta$ ) stabil dan tidak stabil dalam rad terhadap waktu (s) pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat gangguan terjadi di titik C



**Gambar 4.20** Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) stabil dalam rad/s terhadap waktu (s) pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat gangguan terjadi di titik C



**Gambar 4.21** Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) tidak stabil dalam  $rad/s$  terhadap waktu ( $s$ ) pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat gangguan terjadi di titik C

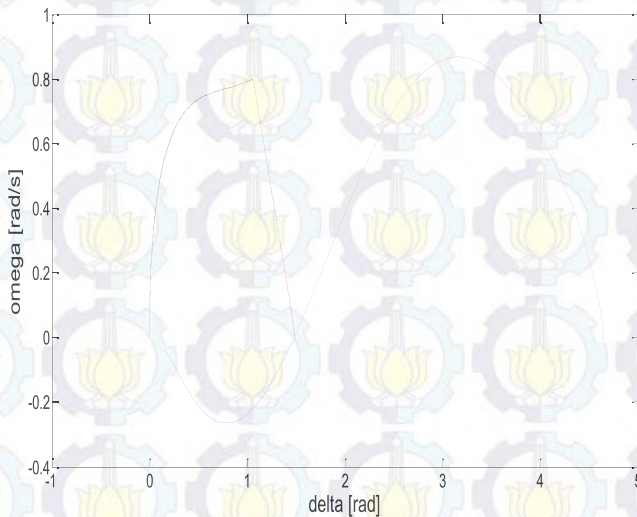


**Gambar 4.22** Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) stabil dan tidak stabil dalam  $rad/s$  terhadap waktu ( $s$ ) pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat gangguan terjadi di titik C



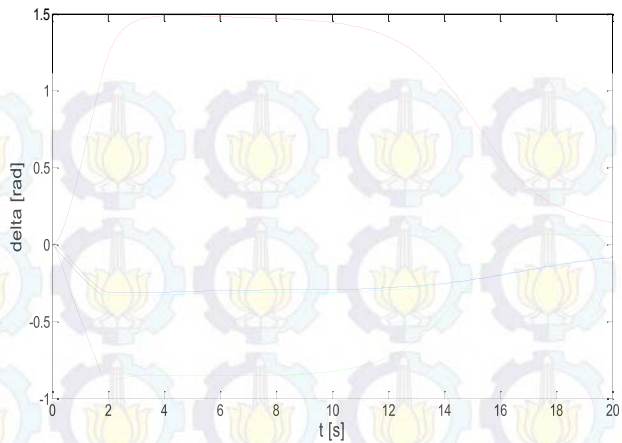
#### d. Titik Gangguan D

Nilai CCT yang diperoleh dari metode TDS adalah *range* antara (1,729 – 1,730) *sec*.

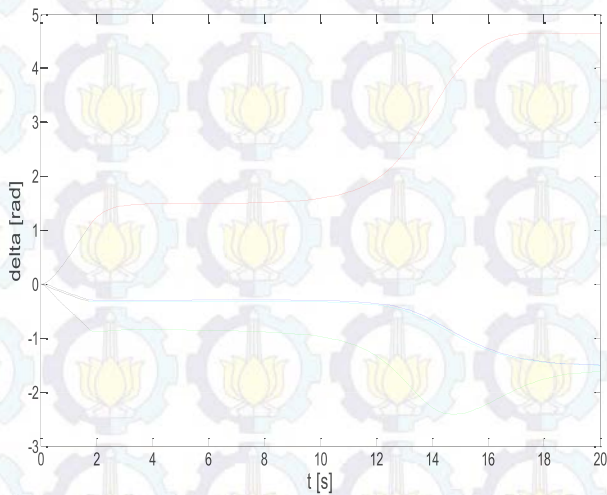


**Gambar 4.23** Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) dalam *rad/s* terhadap sudut rotor ( $\delta$ ) dalam *rad* pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat mengalami gangguan di titik D

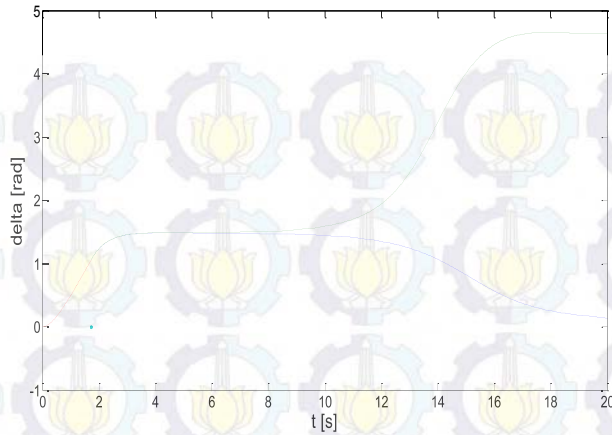
Dapat dilihat dari gambar 4.11 diatas bahwa saat gangguan diputus pada waktu 1,729 S atau waktu stabilnya maka generator akan stabil dan kembali ke keadaan semula yang ditunjukkan dengan kurva berwarna biru. Sedangkan saat gangguan diputus pada waktu 1,730 S atau waktu tidak stabilnya maka generator akan kehilangan sinkronisasinya yang ditunjukkan dengan kurva berwarna merah.



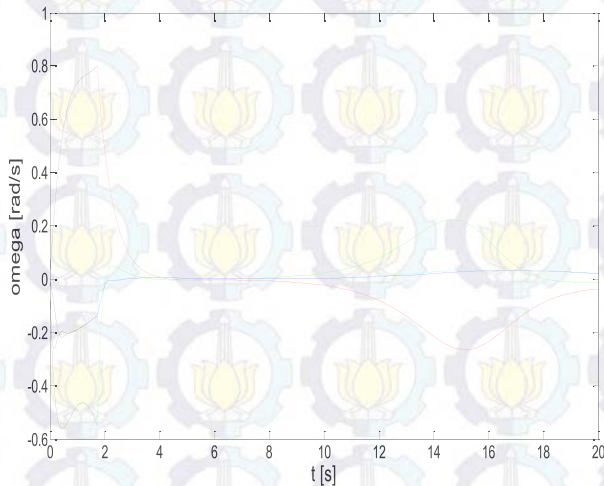
**Gambar 4.24** Grafik karakteristik sudut rotor ( $\delta$ ) stabil dalam *rad* terhadap waktu (*s*) pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat gangguan terjadi di titik D



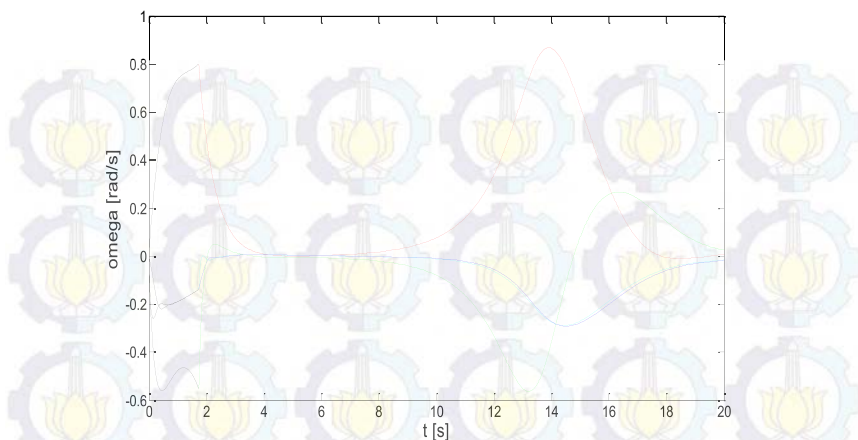
**Gambar 4.25** Grafik karakteristik sudut rotor ( $\delta$ ) tidak stabil dalam *rad* terhadap waktu (*s*) pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat gangguan terjadi di titik D



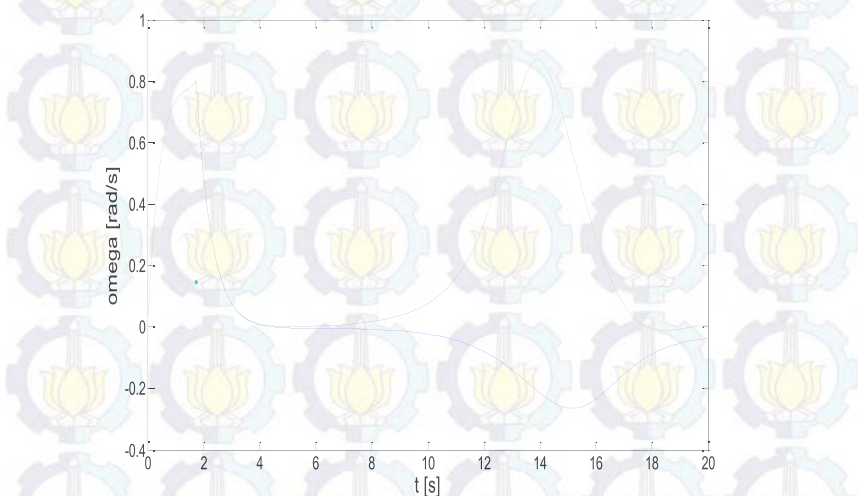
**Gambar 4.26** Grafik karakteristik sudut rotor ( $\delta$ ) stabil dan tidak stabil dalam rad terhadap waktu (s) pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat gangguan terjadi di titik D



**Gambar 4.27** Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) stabil dalam rad/s terhadap waktu (s) pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat gangguan terjadi di titik D



**Gambar 4.28** Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) tidak stabil dalam  $rad/s$  terhadap waktu ( $s$ ) pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat gangguan terjadi di titik D

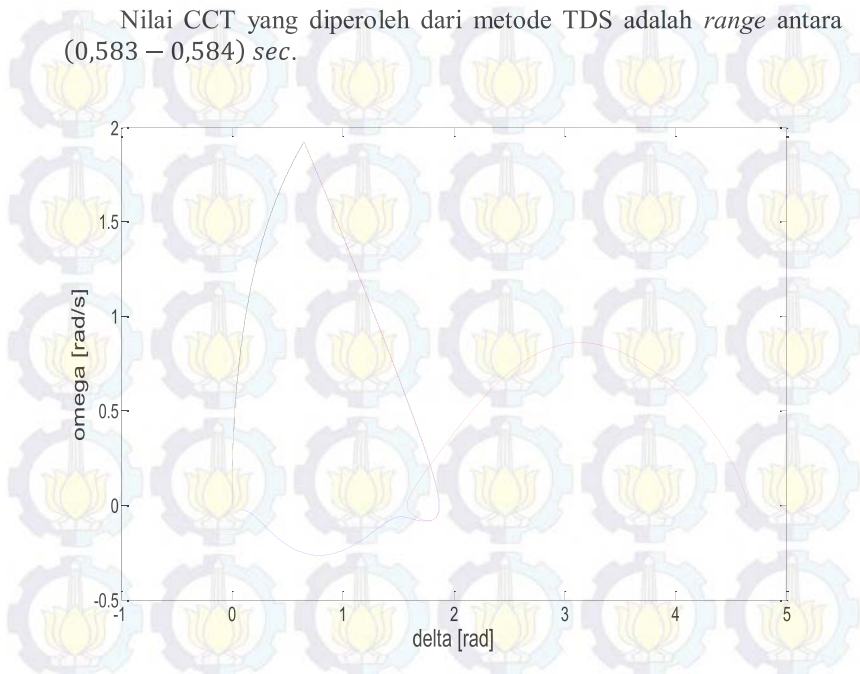


**Gambar 4.29** Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) stabil dan tidak stabil dalam  $rad/s$  terhadap waktu ( $s$ ) pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat gangguan terjadi di titik D



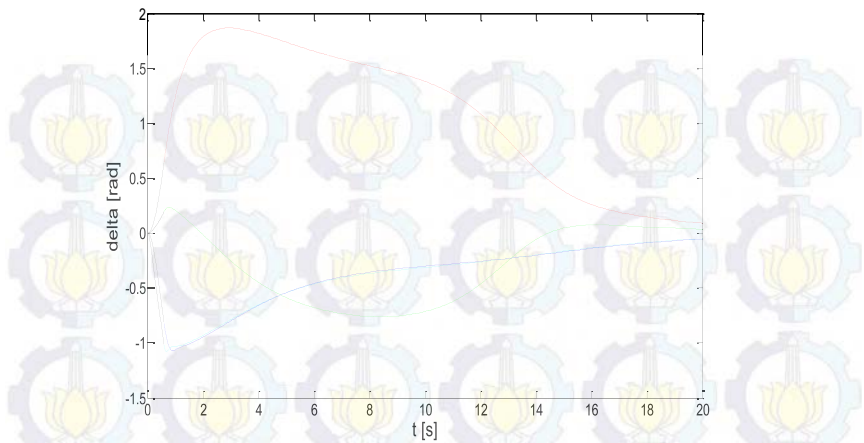
### e. Titik Gangguan E

Nilai CCT yang diperoleh dari metode TDS adalah *range* antara (0,583 – 0,584) *sec*.

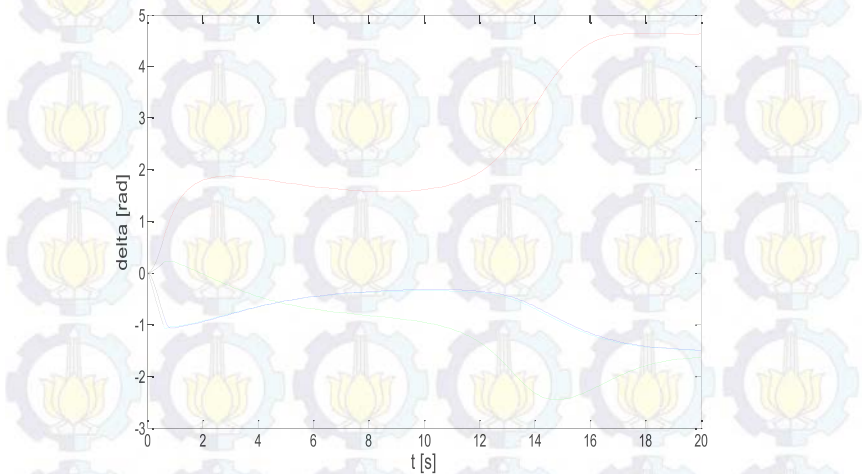


**Gambar 4.30** Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) dalam *rad/s* terhadap sudut rotor ( $\delta$ ) dalam *rad* pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat mengalami gangguan di titik E

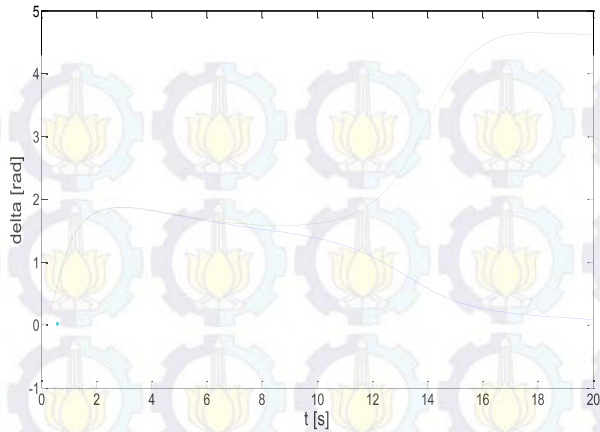
Dapat dilihat dari gambar 4.14 diatas bahwa saat gangguan diputus pada waktu 0,583 S atau waktu stabilnya maka generator akan stabil dan kembali ke keadaan semula yang ditunjukkan dengan kurva berwarna biru. Sedangkan saat gangguan diputus pada waktu 0,584 S atau waktu tidak stabilnya maka generator akan kehilangan sinkronisasinya yang ditunjukkan dengan kurva berwarna merah.



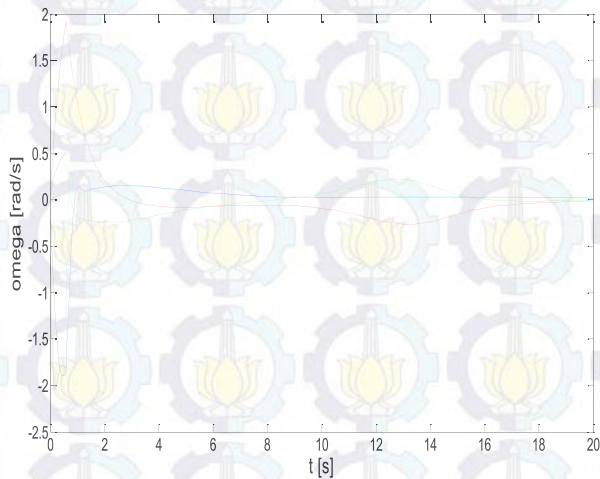
**Gambar 4.31** Grafik karakteristik sudut rotor ( $\delta$ ) stabil dalam *rad* terhadap waktu (*s*) pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat gangguan terjadi di titik E



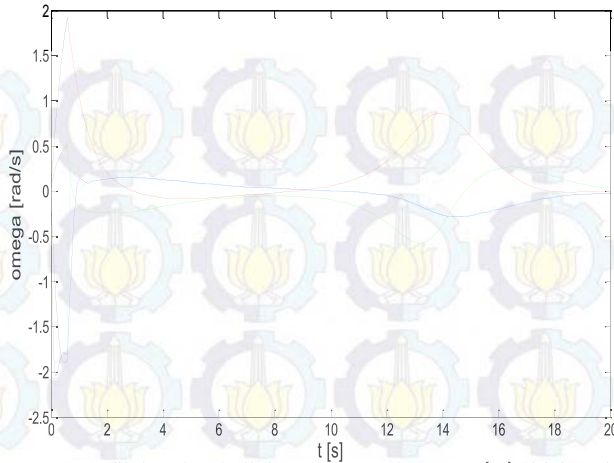
**Gambar 4.32** Grafik karakteristik sudut rotor ( $\delta$ ) tidak stabil dalam *rad* terhadap waktu (*s*) pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat gangguan terjadi di titik E



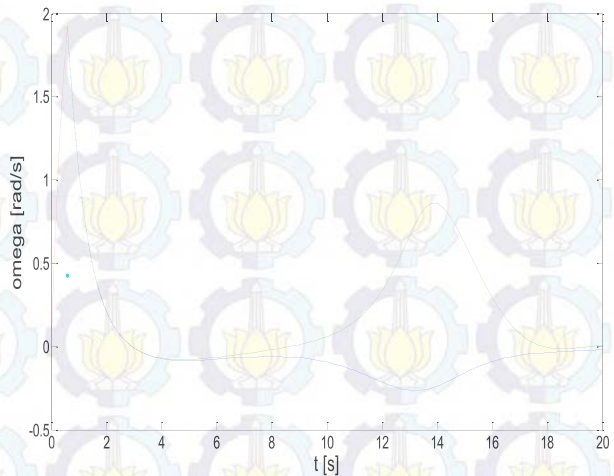
**Gambar 4.33** Grafik karakteristik sudut rotor ( $\delta$ ) stabil dan tidak stabil dalam rad terhadap waktu ( $s$ ) pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat gangguan terjadi di titik E



**Gambar 4.34** Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) stabil dalam rad/s terhadap waktu ( $s$ ) pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat gangguan terjadi di titik E



**Gambar 4.35** Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) tidak stabil dalam  $rad/s$  terhadap waktu ( $s$ ) pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat gangguan terjadi di titik E

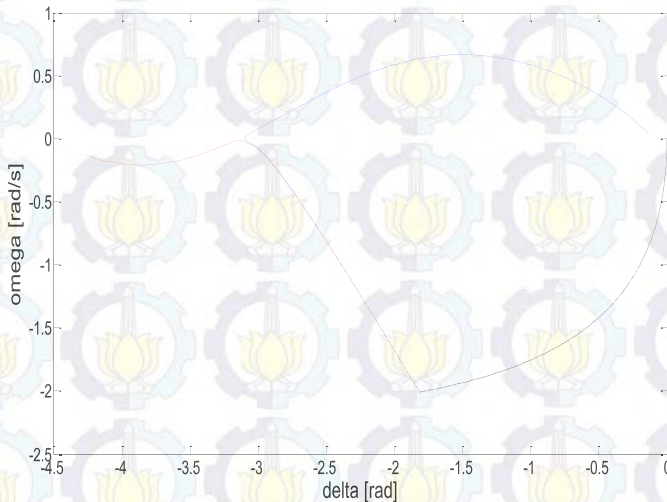


**Gambar 4.36** Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) stabil dan tidak stabil dalam  $rad/s$  terhadap waktu ( $s$ ) pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat gangguan terjadi di titik E



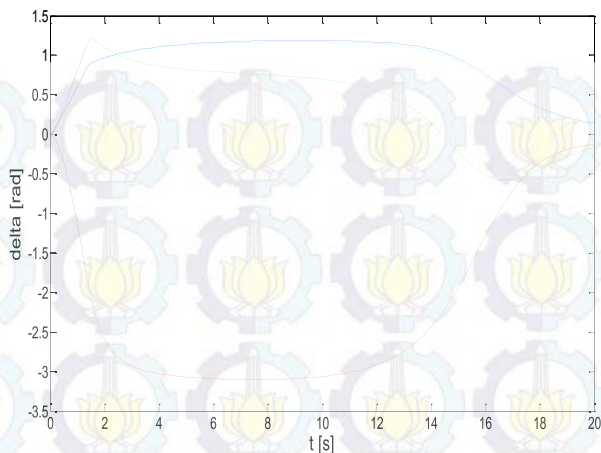
#### f. Titik Gangguan F

Nilai CCT yang diperoleh dari metode TDS adalah *range* antara (1,350 – 1,351) *sec*.

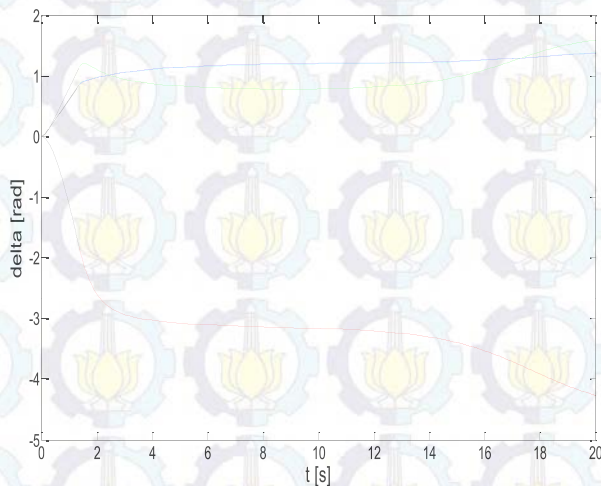


**Gambar 4.37** Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) dalam *rad/s* terhadap sudut rotor ( $\delta$ ) dalam *rad* pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat mengalami gangguan di titik F

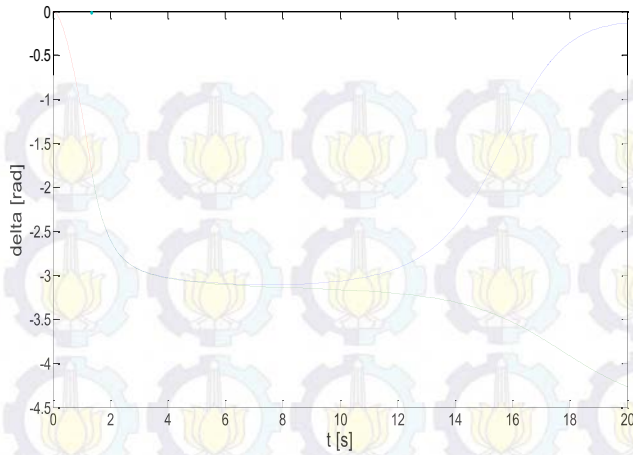
Dapat dilihat dari gambar 4.17 diatas bahwa saat gangguan diputus pada waktu 1,350 S atau waktu stabilnya maka generator akan stabil dan kembali ke keadaan semula yang ditunjukkan dengan kurva berwarna biru. Sedangkan saat gangguan diputus pada waktu 1,351 S atau waktu tidak stabilnya maka generator akan kehilangan sinkronisasinya yang ditunjukkan dengan kurva berwarna merah.



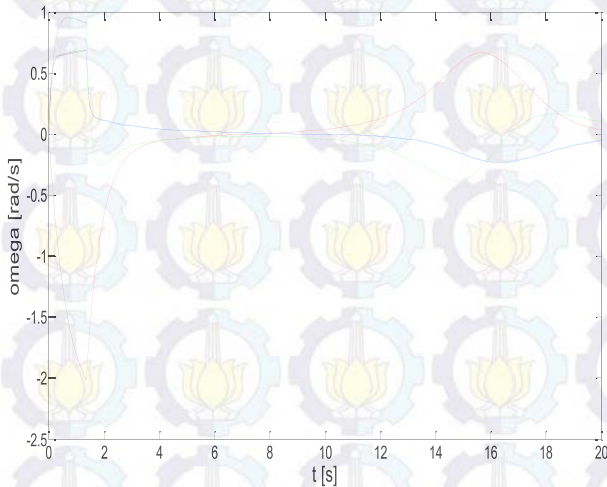
**Gambar 4.38** Grafik karakteristik sudut rotor ( $\delta$ ) stabil dalam *rad* terhadap waktu (*s*) pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat gangguan terjadi di titik F



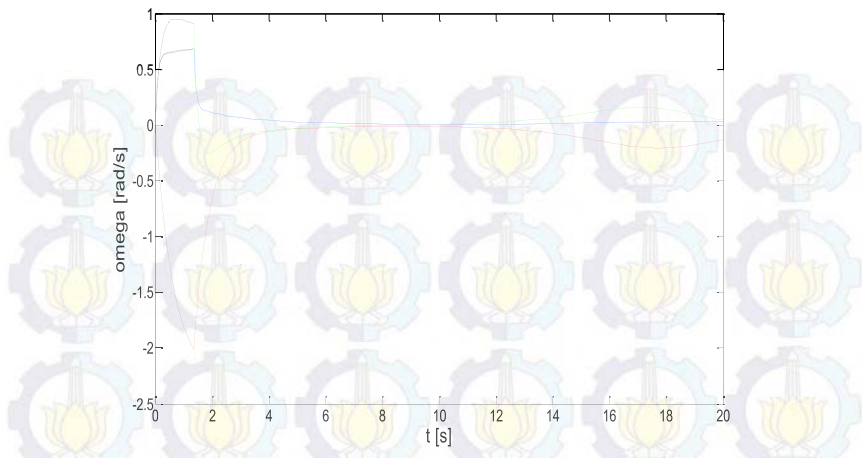
**Gambar 4.39** Grafik karakteristik sudut rotor ( $\delta$ ) tidak stabil dalam *rad* terhadap waktu (*s*) pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat gangguan terjadi di titik F



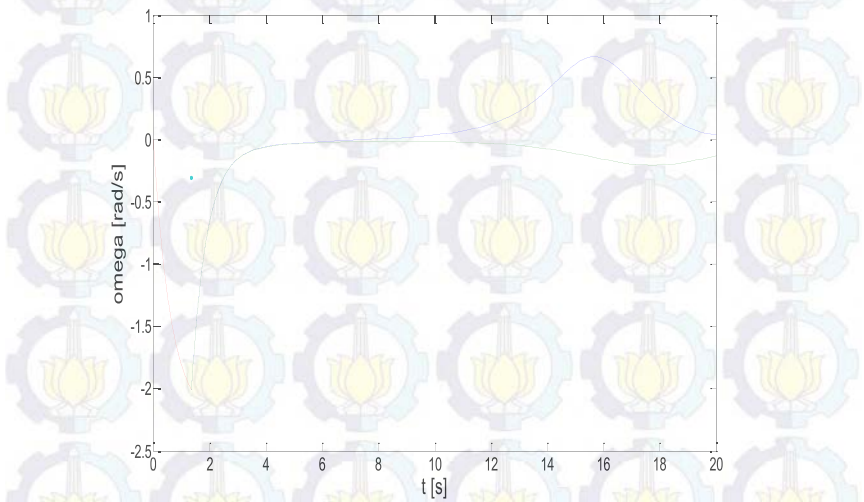
**Gambar 4.40** Grafik karakteristik sudut rotor ( $\delta$ ) stabil dan tidak stabil dalam rad terhadap waktu (s) pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat gangguan terjadi di titik F



**Gambar 4.41** Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) stabil dalam rad/s terhadap waktu (s) pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat gangguan terjadi di titik F



**Gambar 4.42** Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) tidak stabil dalam  $rad/s$  terhadap waktu ( $s$ ) pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat gangguan terjadi di titik F

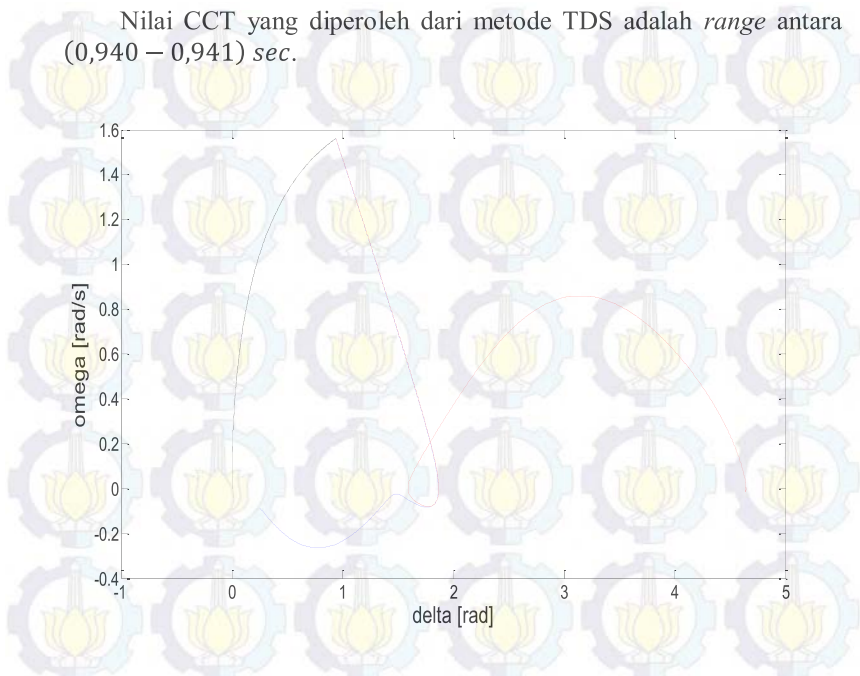


**Gambar 4.43** Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) stabil dan tidak stabil dalam  $rad/s$  terhadap waktu ( $s$ ) pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat gangguan terjadi di titik F



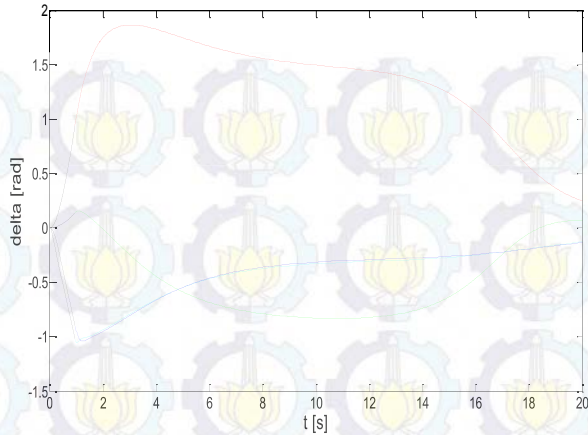
### g. Titik Gangguan G

Nilai CCT yang diperoleh dari metode TDS adalah *range* antara  $(0,940 - 0,941)$  sec.

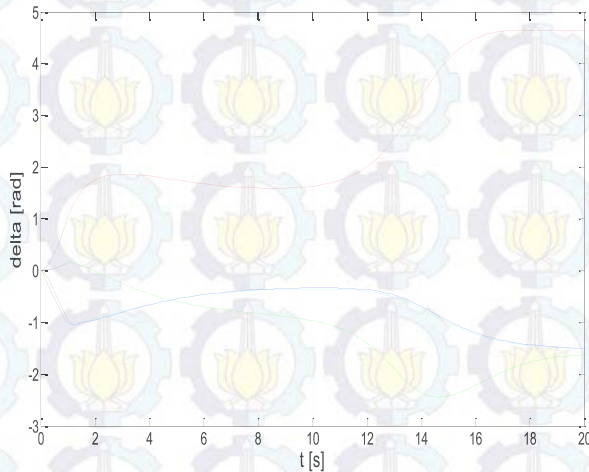


**Gambar 4.44** Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) dalam *rad/s* terhadap sudut rotor ( $\delta$ ) dalam *rad* pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat mengalami gangguan di titik G

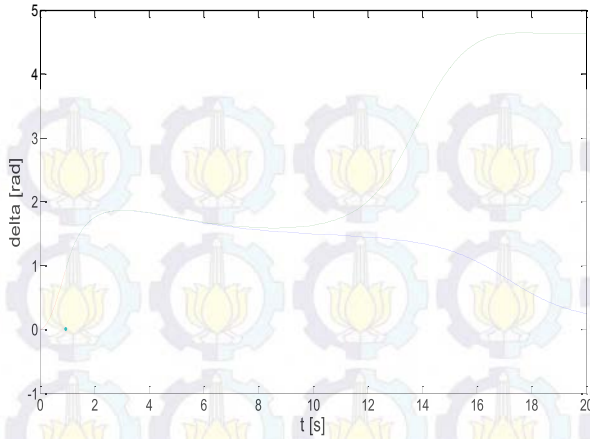
Dapat dilihat dari gambar 4.20 diatas bahwa saat gangguan diputus pada waktu 0,940 S atau waktu stabilnya maka generator akan stabil dan kembali ke keadaan semula yang ditunjukkan dengan kurva berwarna biru. Sedangkan saat gangguan diputus pada waktu 0,941 S atau waktu tidak stabilnya maka generator akan kehilangan sinkronisasinya yang ditunjukkan dengan kurva berwarna merah.



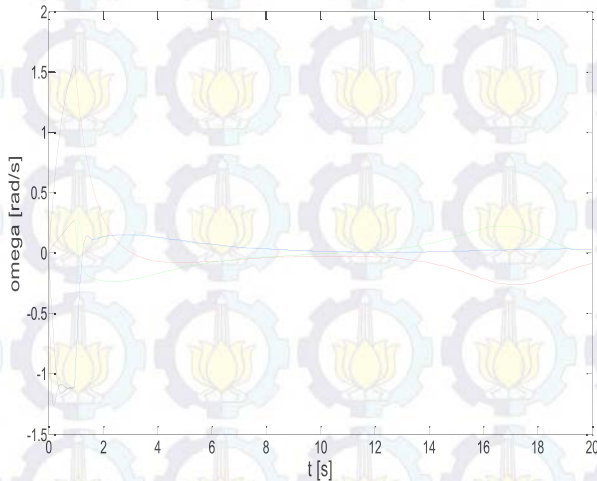
**Gambar 4.45** Grafik karakteristik sudut rotor ( $\delta$ ) stabil dalam *rad* terhadap waktu (*s*) pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat gangguan terjadi di titik G



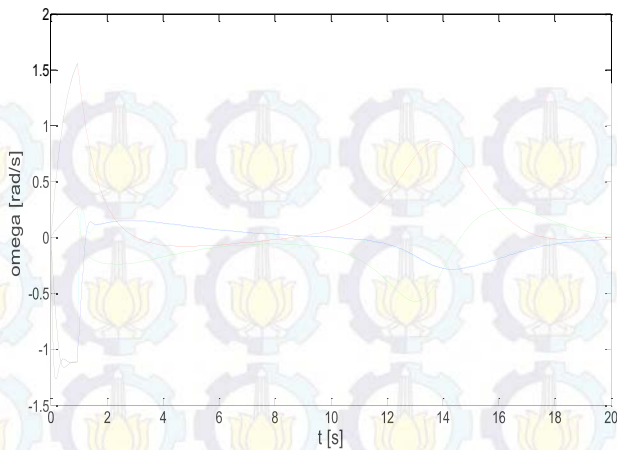
**Gambar 4.46** Grafik karakteristik sudut rotor ( $\delta$ ) tidak stabil dalam *rad* terhadap waktu (*s*) pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat gangguan terjadi di titik G



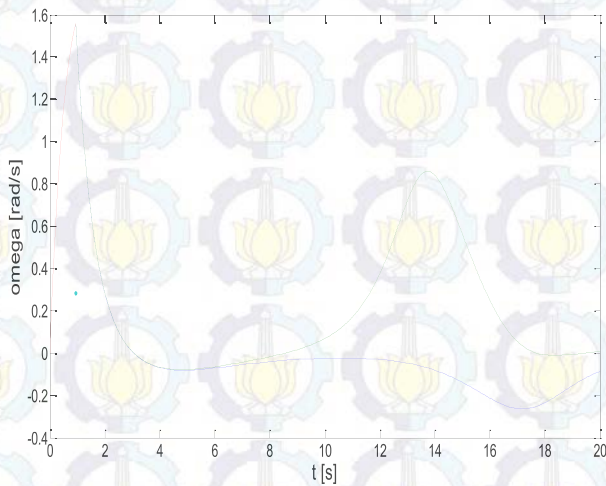
**Gambar 4.47** Grafik karakteristik sudut rotor ( $\delta$ ) stabil dan tidak stabil dalam rad terhadap waktu (s) pada sistem IEEE 34 bus dengan damping saat gangguan terjadi di titik G



**Gambar 4.48** Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) stabil dalam rad/s terhadap waktu (s) pada sistem IEEE 34 bus dengan damping saat gangguan terjadi di titik G



**Gambar 4.49** Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) tidak stabil dalam  $\text{rad/s}$  terhadap waktu ( $s$ ) pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat gangguan terjadi di titik G

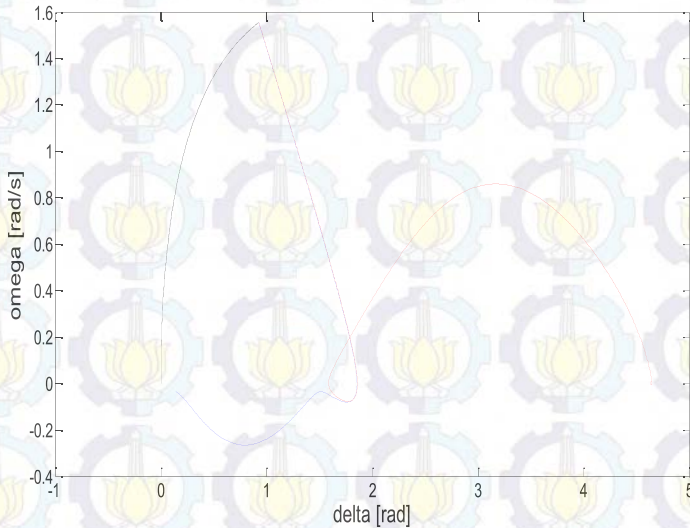


**Gambar 4.50** Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) stabil dan tidak stabil dalam  $\text{rad/s}$  terhadap waktu ( $s$ ) pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat gangguan terjadi di titik G



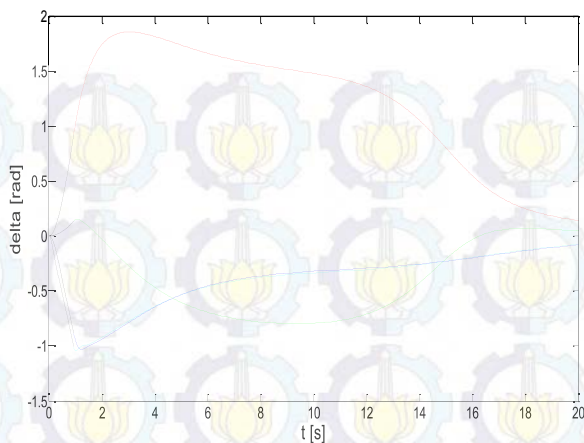
## h. Titik Gangguan H

Nilai CCT yang diperoleh dari metode TDS adalah *range* antara  $(0,932 - 0,933)$  sec.

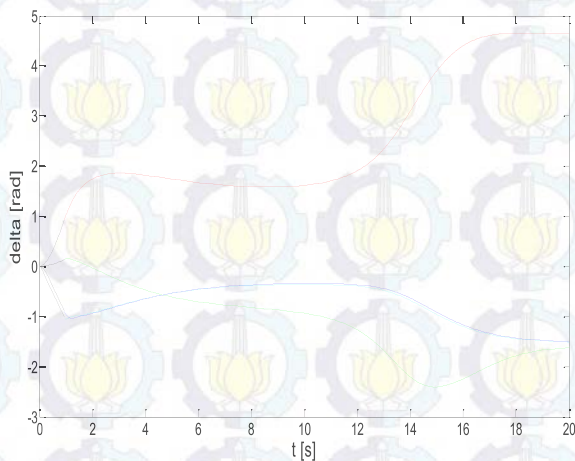


**Gambar 4.51** Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) dalam *rad/s* terhadap sudut rotor ( $\delta$ ) dalam *rad* pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat mengalami gangguan di titik H

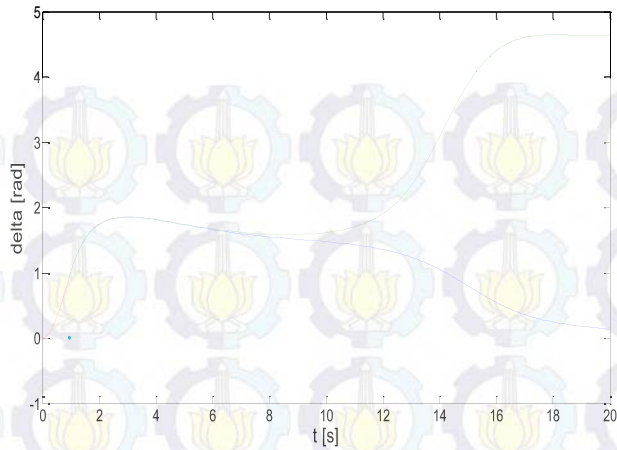
Dapat dilihat dari gambar 4.23 diatas bahwa saat gangguan diputus pada waktu 0,932 S atau waktu stabilnya maka generator akan stabil dan kembali ke keadaan semula yang ditunjukkan dengan kurva berwarna biru. Sedangkan saat gangguan diputus pada waktu 0,933 S atau waktu tidak stabilnya maka generator akan kehilangan sinkronisasinya yang ditunjukkan dengan kurva berwarna merah.



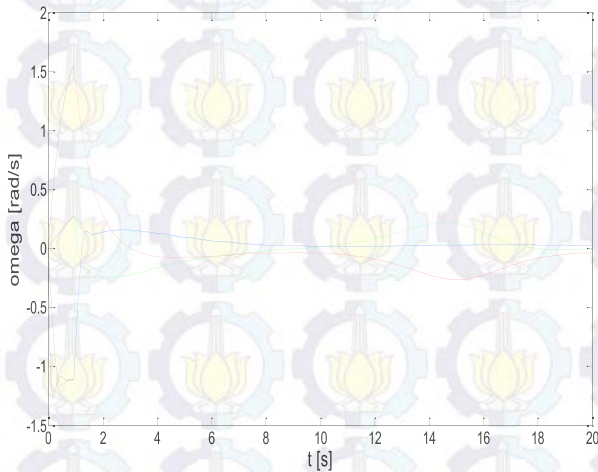
**Gambar 4.52** Grafik karakteristik sudut rotor ( $\delta$ ) stabil dalam *rad* terhadap waktu (*s*) pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat gangguan terjadi di titik H



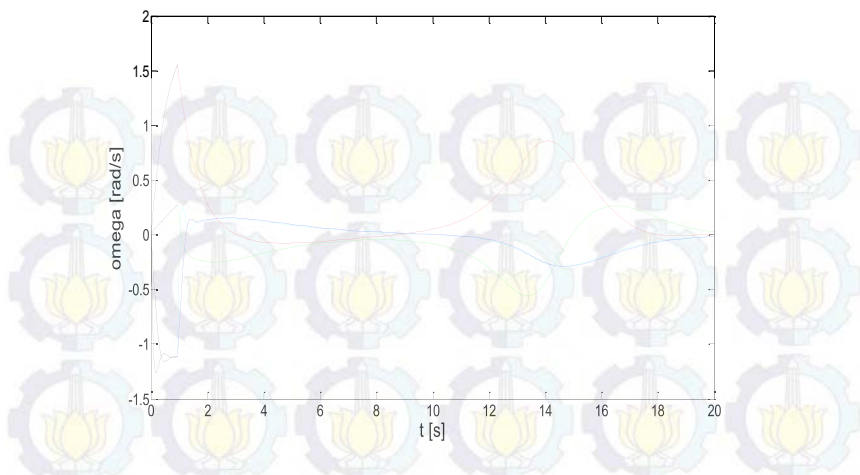
**Gambar 4.53** Grafik karakteristik sudut rotor ( $\delta$ ) tidak stabil dalam *rad* terhadap waktu (*s*) pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat gangguan terjadi di titik H



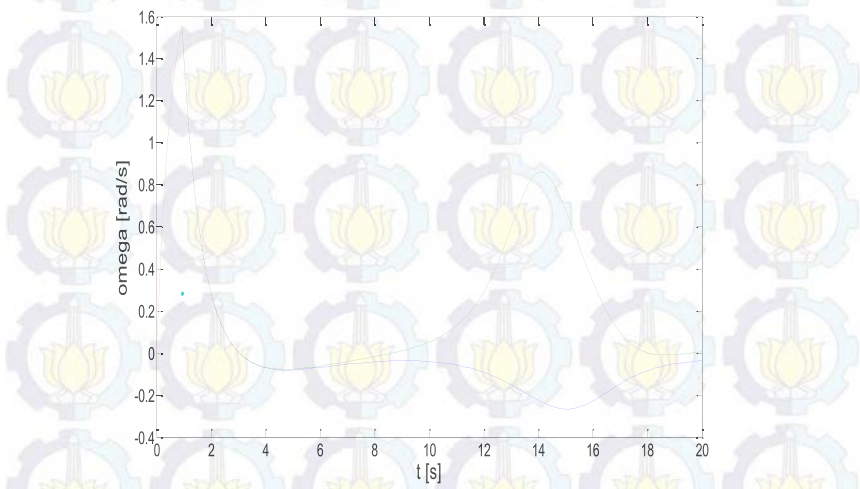
**Gambar 4.54** Grafik karakteristik sudut rotor ( $\delta$ ) stabil dan tidak stabil dalam rad terhadap waktu (s) pada sistem IEEE 34 bus dengan damping saat gangguan terjadi di titik H



**Gambar 4.55** Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) stabil dalam rad/s terhadap waktu (s) pada sistem IEEE 34 bus dengan damping saat gangguan terjadi di titik H



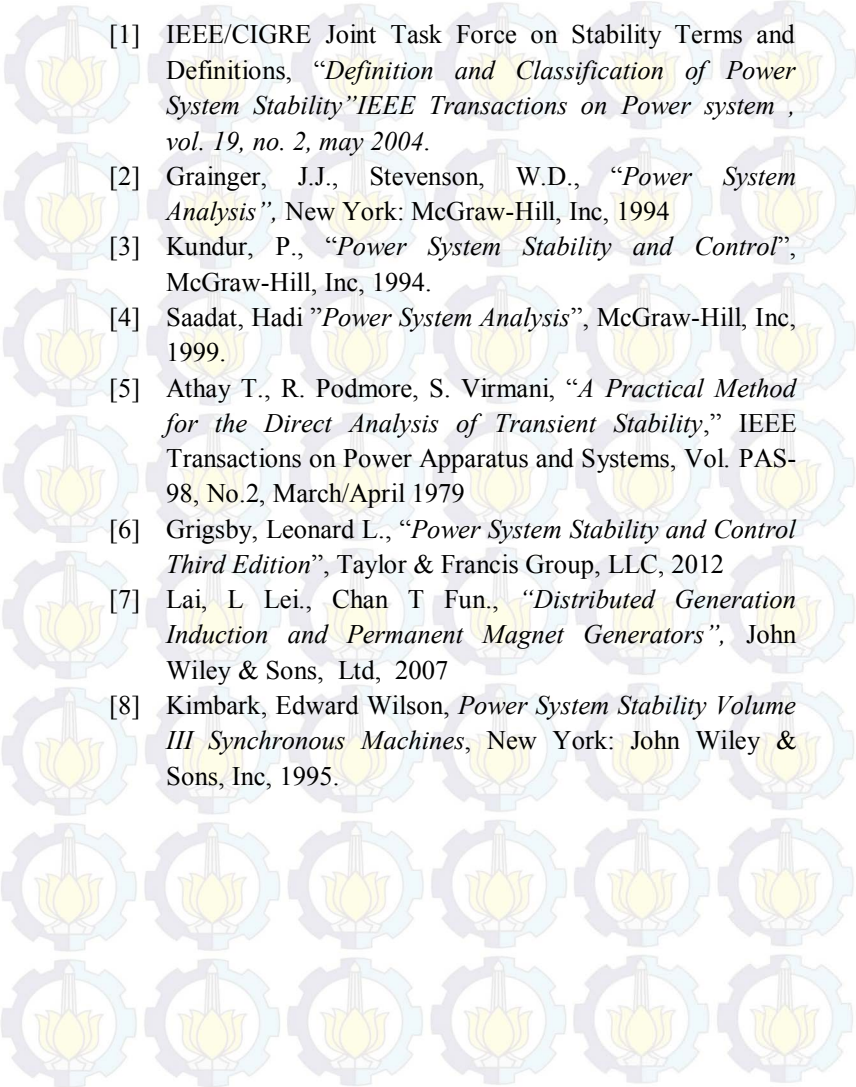
**Gambar 4.56** Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) tidak stabil dalam  $\text{rad/s}$  terhadap waktu ( $s$ ) pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat gangguan terjadi di titik H

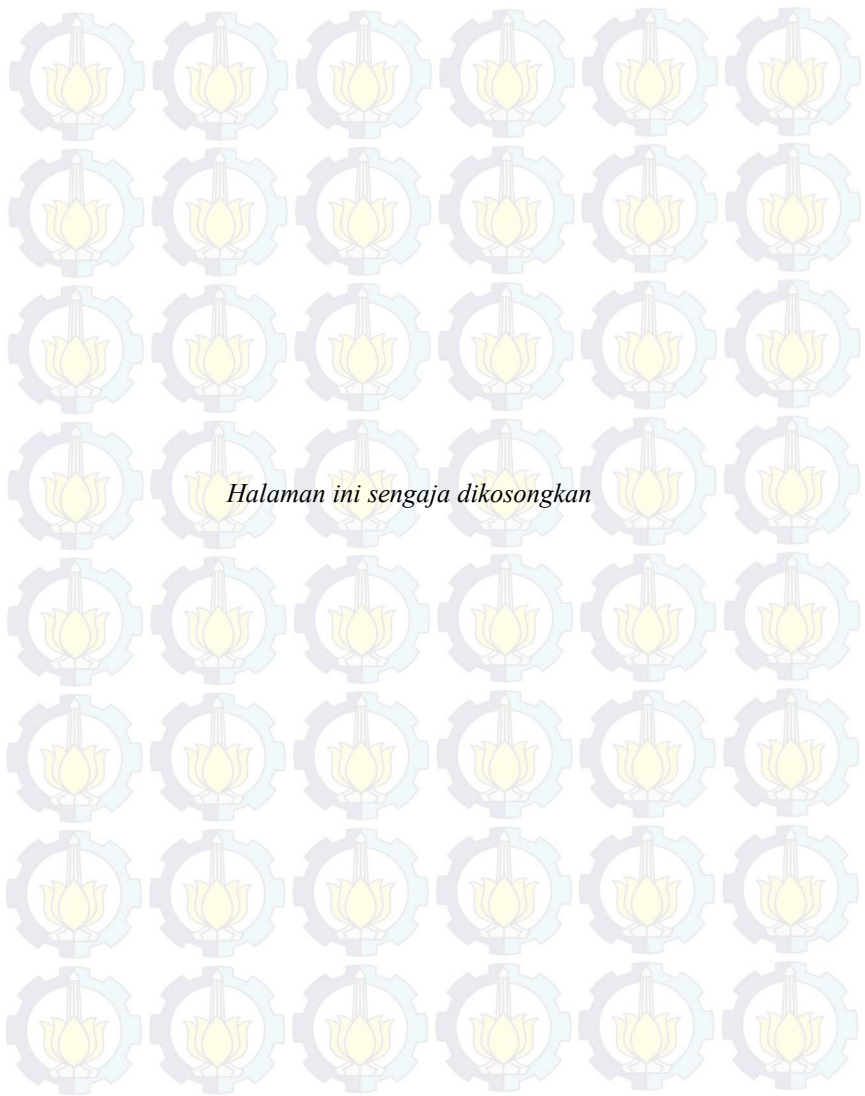


**Gambar 4.57** Grafik karakteristik kecepatan sudut rotor ( $\omega$ ) stabil dan tidak stabil dalam  $\text{rad/s}$  terhadap waktu ( $s$ ) pada sistem IEEE 34 bus dengan *damping* saat gangguan terjadi di titik H



## DAFTAR PUSTAKA

- 
- [1] IEEE/CIGRE Joint Task Force on Stability Terms and Definitions, “*Definition and Classification of Power System Stability*” *IEEE Transactions on Power system* , vol. 19, no. 2, may 2004.
  - [2] Grainger, J.J., Stevenson, W.D., “*Power System Analysis*”, New York: McGraw-Hill, Inc, 1994
  - [3] Kundur, P., “*Power System Stability and Control*”, McGraw-Hill, Inc, 1994.
  - [4] Saadat, Hadi ”*Power System Analysis*”, McGraw-Hill, Inc, 1999.
  - [5] Athay T., R. Podmore, S. Virmani, “*A Practical Method for the Direct Analysis of Transient Stability,*” IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-98, No.2, March/April 1979
  - [6] Grigsby, Leonard L., “*Power System Stability and Control Third Edition*”, Taylor & Francis Group, LLC, 2012
  - [7] Lai, L Lei., Chan T Fun., “*Distributed Generation Induction and Permanent Magnet Generators*”, John Wiley & Sons, Ltd, 2007
  - [8] Kimbark, Edward Wilson, *Power System Stability Volume III Synchronous Machines*, New York: John Wiley & Sons, Inc, 1995.



## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

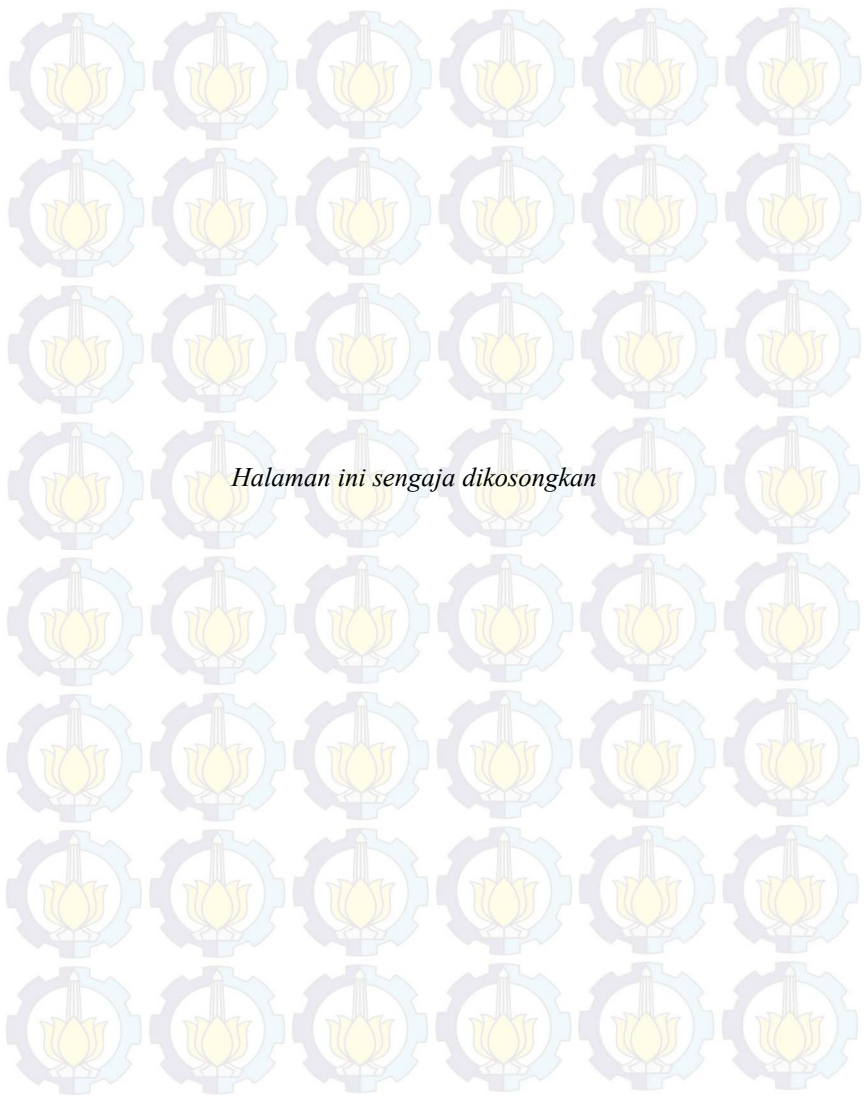
Berdasarkan hasil simulasi dan analisis pada perhitungan CCT menggunakan metode *Time Domain Simulation* pada jaringan radial IEEE 34 bus dapat disimpulkan bahwa beberapa hasil CCT yang didapat, nilai CCT 0,239 detik adalah nilai CCT yang terkecil sehingga sistem akan stabil jika gangguan diputus atau dilokalisir tidak lebih dari waktu 0,239 detik tersebut.

Dapat disimpulkan pula bahwa nilai CCT 0,239 detik digunakan untuk *setting* waktu CB yang terdekat dengan generator untuk semua generator sehingga dengan *setting* waktu tersebut dapat mengakomodir semua kemungkinan terjadinya gangguan hubung singkat pada sistem yang digunakan.

#### **5.2 Saran**

Adapun terdapat beberapa saran yang dapat diberikan untuk dilakukan perbaikan dan pengembangan simulasi dengan metode ini sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan pengecekan apakah hasil simulasi ketika menggunakan reduksi jaringan sama dengan hasil simulasi ketika tidak menggunakan reduksi jaringan sehingga dapat diketahui apakah metode reduksi kron relevan jika digunakan untuk jaringan radial.
2. Perlu dilakukan perhitungan CCT dengan metode lain sehingga dapat dibandingkan dengan metode *Time Domain Simulation*





## LAMPIRAN

